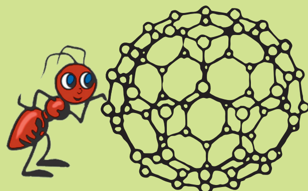
ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

ЕНЦИКЛОПЕДІЯ
тестових завдань

І. М. Гельфгат

Повний курс шкільної фізики в тестах



- Понад 1000 завдань різної складності
- Розв’язання, відповіді до завдань
- Аналіз типових помилок
- Короткий фізичний довідник

Створено спільно з фахівцями
Українського центру оцінювання якості освіти

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА (короткий варіант)

Групи → / Періоди ↓	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б	а VI б	а VII б	а VIII б			
1	H 1 1,0079 Гідроген Водень						(H)	He 2 4,0026 Гелій			
2	Li 3 6,941 Літій	Be 4 9,012 Берилій	B 5 10,81 Бор	C 6 12,011 Карбон Вуглець	N 7 14,0067 Нітроген Азот	O 8 15,999 Оксиген Кисень	F 9 18,998 Флуор Фтор	Ne 10 20,179 Неон			
3	Na 11 22,990 Натрій	Mg 12 24,305 Магній	Al 13 26,981 Алюміній	Si 14 28,086 Силіцій	P 15 30,973 Фосфор	S 16 32,06 Сульфур Сірка	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон			
4	K 19 39,098 Калій	Ca 20 40,08 Кальцій	21 44,956 Sc Скандій	22 47,90 Ti Титан	23 50,941 V Ванадій	24 51,996 Cr Хром	25 54,938 Mn Манган		26 55,847 Fe Ферум Залізо	27 58,933 Co Кобальт	28 58,70 Ni Нікол Нікель
	29 63,546 Cu Купрум Мідь	30 65,38 Zn Цинк	Ga 31 69,72 Галій	Ge 32 72,59 Германій	As 33 74,921 Арсен	Se 34 78,96 Селен	Br 35 79,904 Бром	Kr 36 83,80 Криптон			
5	Rb 37 85,468 Рубідій	Sr 38 87,62 Стронцій	39 88,906 Y Ітрій	40 91,22 Zr Цирконій	41 92,906 Nb Ніобій	42 95,94 Mo Молібден	43 98,906 Tc Технецій		44 101,07 Ru Рутеній	45 102,905 Rh Родій	46 106,4 Pd Паладій
	47 107,868 Ag Аргентум Срібло	48 112,40 Cd Кадмій	In 49 114,82 Індій	Sn 50 118,69 Станум Олово	Sb 51 121,75 Стибій	Te 52 127,60 Телур	I 53 126,904 Йод	Xe 54 131,30 Ксенон			
6	Cs 55 132,905 Цезій	Ba 56 137,34 Барій	57 138,905 *La Лантан	72 178,49 Hf Гафній	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,207 Re Реній		76 190,2 Os Осмій	77 192,22 Ir Іридій	78 195,09 Pt Платина
	79 196,967 Au Аурум Золото	80 200,59 Hg Меркурій Ртуть	Tl 81 204,37 Талій	Pb 82 207,2 Плюмбум Свинець	Bi 83 208,980 Бісмут	Po 84 [209] Полоній	At 85 [210] Астат	Rn 86 [222] Радон			
7	Fr 87 [223,02] Францій	Ra 88 [226,03] Радій	89 [227,03] **Ac Актиній	104 [265,12] Rf Резерфордій	105 [268,13] Db Дубній	106 [271,13] Sg Сиборгій	107 [270] Bh Борій		108 [277,15] Hs Гасій	109 [276,15] Mt Майтнерій	110 [281,16] Ds Дармштадтій
	111 [280,16] Rg Рентгеній	112 [285,17] Cn Коперніцій	Nh 113 [284,18] Ніхоній	Fl 114 [289,19] Флеровій	Mc 115 [288,19] Московій	Lv 116 [293] Ліверморій	Ts 117 [294] Теннессін	Og 118 [294] Оганессон			

Символ елемента — F; Порядковий номер — 9; Відносна атомна маса — 18,998; Назва елемента — Флуор; Назва простої речовини — Фтор

***Лантаноїди**

58 140,12 Ce Церій	59 140,91 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [144,91] Pm Прометій	62 150,36 Sm Самарій	63 151,96 Eu Європій	64 157,25 Gd Гадоліній	65 158,93 Tb Тербій	66 162,50 Dy Диспрозій	67 164,93 Ho Гольмій	68 167,26 Er Ербій	69 168,93 Tm Тулій	70 173,05 Yb Ітербій	71 174,97 Lu Лютецій

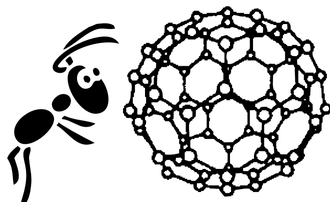
****Актиноїди**

90 232,04 Th Торій	91 231,04 Pa Протактиній	92 238,03 U Уран	93 [237,05] Np Нептуній	94 [244,06] Pu Плутоній	95 [243,06] Am Америцій	96 [247,07] Cm Кюрій	97 [247,07] Bk Берклій	98 [251,08] Cf Каліфорній	99 [252,08] Es Ейнштейній	100 [257,10] Fm Фермій	101 [258,10] Md Менделевій	102 [259,10] No Нобелій	103 [262,11] Lr Лоуренсій

ЕНЦИКЛОПЕДІЯ
тестових завдань

І. М. Гельфгат

Повний курс шкільної фізики в тестах



- Понад 1000 завдань різної складності
- Розв'язання, відповіді до завдань
- Аналіз типових помилок
- Короткий фізичний довідник

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

УДК 53:37.016:076.3
Г32

Серія «Енциклопедія тестових завдань»

Схвалено для використання у загальноосвітніх навчальних закладах
(лист Інституту модернізації змісту освіти Міністерства освіти і науки України
від 11.04.2017 № 21.1/12-Г-46)

Рецензенти:
В. В. Хардіков, доцент кафедри теоретичної радіофізики радіофізичного факультету ХНУ ім. В. Н. Каразіна, канд. фіз.-мат. наук;
І. Ю. Ненашев, учитель фізики вищої кваліфікаційної категорії комунального закладу «Харківський фізико-математичний ліцей № 27», учитель-методист, відмінник народної освіти України, заслужений учитель України

Гельфгат І. М.
Г32 Повний курс шкільної фізики в тестах / І. М. Гельфгат. — 3-тє вид. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 384 с. + Додаток : Короткий фізичний довідник (48 с.). — (Серія «Енциклопедія тестових завдань»).

ISBN 978-617-09-1106-3

Видання являє собою збірник тестових завдань з фізики і містить усі основні типи тестових завдань, які використовуються під час оцінювання якості знань. Матеріал посібника структуровано за тематичними розділами, які відтворюють змістові лінії сучасного шкільного курсу фізики. Тестові завдання в межах кожного розділу диференційовано за рівнем складності, до всіх завдань наведено повні розв'язання, коментарі. Наприкінці кожного тематичного розділу вміщено тест для самостійного виконання; відповіді до таких тестів наведено наприкінці видання.

У кожному тематичному розділі, у рубриці «Що треба згадати», пропонуються відповідні теоретичні відомості. Для зручності їх зібрано в «Короткий фізичний довідник», який безкоштовно додається до посібника.

Посібник призначено для учнів закладів загальної середньої освіти, абітурієнтів, тих, хто хоче повторити й систематизувати матеріал шкільного курсу фізики; учителів фізики.

УДК 53:37.016:076.3

Навчальне видання
Серія «Енциклопедія тестових завдань»

ГЕЛЬФГАТ Ілля Маркович
ПОВНИЙ КУРС ШКІЛЬНОЇ ФІЗИКИ В ТЕСТАХ
3-тє видання
Окремо виданий додаток
«Короткий фізичний довідник»
Фаховий редактор *Л. С. Кремінська*
Редактор *І. Л. Морева*
Технічний редактор *О. В. Сміян*

Т229006У. Підписано до друку 25.03.2019.
Формат 70×100/16. Папір офсетний.
Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.
Ум. друк. арк. 31,11.

ТОВ Видавництво «Ранок»,
вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5215 від 22.09.2016.
Для листів: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.

E-mail: office@ranok.com.ua
Тел. (057) 719-48-65,
тел./факс (057) 719-58-67.
З питань реалізації: (057) 727-70-80.
E-mail: commerce@ranok.com.ua

Регіональні представництва видавництва «Ранок»:
Київ – тел. (044) 229-84-01,
e-mail: office.kyiv@ranok.com.ua,
Львів – тел. (067) 269-00-61,
e-mail: office.lviv@ranok.com.ua.

www.ranok.com.ua





Разом дбаємо
про екологію та здоров'я

ISBN 978-617-09-1106-3

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА

Тестування стало вже звичним для школярів України, випускників загальноосвітніх навчальних закладів, абітурієнтів, учителів і батьків. Саме тестування є сьогодні головним засобом підсумкового контролю рівня навчальних досягнень і відбору кращих абітурієнтів для навчання у вищих навчальних закладах. Протягом минулих років накопичено певний досвід проведення тестування та підготовки до нього учнів.

Кому буде корисний пропонований посібник? Передусім — учням загальноосвітніх навчальних закладів, тим, хто хоче систематизувати свої знання зі шкільного курсу фізики, а також усім, на кого чекає тестування з фізики. Посібник побудовано так, що з ним зручно буде працювати й тим, хто розраховує на високі бали, й тим, у кого плани дещо скромніші.

При визначенні оцінки за завдання ЗНО усі завдання однієї форми оцінюються однаковою кількістю тестових балів: завдання з вибором однієї відповіді — 1 бал, завдання на встановлення відповідностей (логічні пари) — до 4 балів, завдання з короткою відповіддю — 2 бали. То невже під час підготовки слід *окремо* вчитися виконувати завдання різних форм? Звісно, ні! Досвід свідчить, що складність тестового завдання визначається не стільки його формою, скільки змістом завдання (зокрема, для завдань з вибором однієї відповіді важливим є підбір запропонованих неправильних варіантів відповіді).

Під час роботи над посібником здійснено аналіз завдань ДПА і ЗНО з фізики за всі минулі роки; посібник містить аналоги практично всіх цих завдань.

Для підготовки до тестування корисним буде *послідовно* попрацювати з тестовими завданнями різної складності. Саме тому в посібнику тестові завдання диференційовані. Кожний тематичний розділ (їх у посібнику 16 — згідно з розділами чинної програми ЗНО з фізики) починається з тестових завдань *першого рівня складності* (там є і завдання з вибором відповіді, і логічні пари, і завдання з короткою відповіддю), потім пропонуються тестові завдання *другого рівня складності*. До всіх зазначених завдань наведено *повні розв'язання, коментарі.* Тематичний розділ закінчується *тестом для самостійного виконання* — до таких тестів відповіді наведено в кінці посібника (у вигляді заповнених бланків відповідей). Тести для самостійного виконання можна застосувати для тренування та самоконтролю. Після кожного такого тесту подано бланк відповідей, що дозволить потренуватися в його правильному заповненні.

Таким чином, структура посібника дозволяє працювати з ним систематично, готуючись до ДПА та ЗНО з фізики протягом одного-двох років. Учитель може використовувати наведені завдання як тренувальні, а також для поточного та тематичного контролю. Зазначимо, що тести та тестові завдання в жодному разі не мають витісняти з навчального процесу розгляд теоретичних питань і розв'язування задач, проте вони надають можливість дуже оперативного та досить об'єктивного контролю (або самоконтролю) рівня навчальних досягнень.

Зазначимо, що 80–90 % тестових завдань ЗНО з фізики у 2009–2018 роках відповідали першому рівню складності за нашою класифікацією. Отже, опрацювання навіть цієї частини посібника дає реальні шанси отримати високий результат за підсумками ЗНО з фізики.

Тестові завдання мають певну специфіку порівняно зі «звичайними». Розуміння цієї специфіки дозволяє зекономити час для виконання завдань і значно зменшити ймовірність помилки. Ми намагалися побудувати посібник так, щоб читач опанував деякі нехитрі «рецепти» аналізу тестових завдань.



Аналіз деяких тестових завдань здійснюється «неформально»; аналізуються підходи, які є ефективними саме для роботи з тестами. Іноді читачеві пропонуються підказки «свого хлопця» — однолітка випускників. У нього є свої секрети, як подолати тестові «бар'єри». Проте іноді він припускається помилок, які є *типовими*. До таких помилок у посібнику наведено відповідні *коментарі*.

Зазначимо, що для зменшення об'єму посібника ми зазвичай не наводили у розв'язаннях перевірку одиниць величин. Таку перевірку треба робити самостійно, особливо це є важливим у сумнівних випадках і для завдань з громіздкими розрахунками. Наприкінці посібника наведено *таблицю префіксів для утворення кратних і частинних одиниць*; *значення тригонометричних функцій деяких кутів*; *Періодична система хімічних елементів Д. І. Менделєєва*. Усі інші необхідні довідкові дані містяться в текстах завдань.

Кожний тематичний розділ посібника починається рубрикою «Що треба згадати», яка містить відповідні *теоретичні відомості*. Вони зібрані також у додатку «*Короткий фізичний довідник*». Для зручності передбачена можливість використовувати цей додаток як окрему маленьку книжечку.

Сподіваємося, що опрацювання пропонованого посібника допоможе розібратися з питаннями програми ЗНО з фізики та успішно пройти цей важливий іспит.

Бажаємо успіхів!

Розділ 1. ОСНОВИ КІНЕМАТИКИ

Що треба згадати

- **Миттєва швидкість руху:** $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$, де $\Delta\vec{s}$ — переміщення тіла за малий інтервал часу Δt.

- **Прямолінійний рівномірний рух:** $\vec{s} = \vec{v}t$, де $\vec{s}$ — переміщення тіла за час t; $\vec{v}$ — швидкість руху тіла.

- **Проекція переміщення на вісь *Ox*:** $s_x = v_x t$, де v_x — проекція швидкості руху на вісь Ox.

- **Координата тіла:** $x = x_0 + v_x t$, де x_0 — початкова координата тіла.

- **Середня швидкість нерівномірного руху:** $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \ldots}{t_1 + t_2 + \ldots}$, де $\vec{s}$ — загальне переміщення тіла за час t, яке складається з переміщень $\vec{s}_1$, $\vec{s}_2$, ..., що відбувалися за інтервали часу t_1, t_2, ...

- **Середня шляхова швидкість:** $v = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \ldots}{t_1 + t_2 + \ldots}$, де l — загальний шлях, пройдений тілом за час t; l_1, l_2, ... — довжини окремих ділянок траєкторії, які тіло проходило за інтервали часу t_1, t_2, ...

- **Закон додавання швидкостей:** $\vec{v}_{\text{тіло–НСВ}} = \vec{v}_{\text{тіло–РСВ}} + \vec{v}_{\text{РСВ–НСВ}}$, де НСВ — нерухома система відліку; РСВ — рухома система відліку.

- **Прискорення:** $\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, де $\Delta\vec{v}$ — зміна швидкості руху тіла за малий інтервал часу Δt.

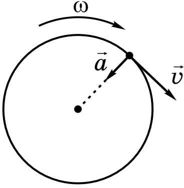
- **Прямолінійний рівноприскорений рух:**

  $v_x = v_{0x} + a_x t$, де v_x, v_{0x}, a_x — проекції на вісь Ox відповідно швидкості руху тіла, його початкової швидкості та прискорення.

  $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}t = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$, де s_x — проекція переміщення тіла на вісь Ox.

  $x = x_0 + s_x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, де x, x_0 — відповідно координата тіла та початкова координата тіла.

Рівномірний рух по колу радіусом *R*:

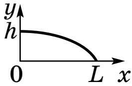


Кутова швидкість руху: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, де $\Delta\varphi$ — кут повороту радіуса за інтервал часу Δt.

Лінійна швидкість руху: $v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi n R$, де T — період; $n = \frac{1}{T}$ — обертова частота.

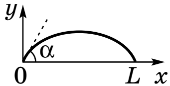
Доцентрове прискорення: $a = \omega v = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$.

Рух тіла, яке кинули горизонтально:



$v_x = v_0$, $v_y = -gt$, $L = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$, де v_0 — модуль початкової швидкості руху; g — прискорення вільного падіння; L — горизонтальна дальність польоту тіла.

Рух тіла, яке кинули під кутом до горизонту:

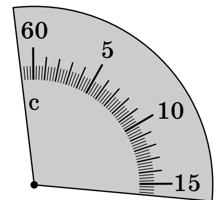


$v_x = v_{0x}$, $v_y = v_{0y} - gt$, $L = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$, де α — кут, який утворює початкова швидкість руху із горизонтальною площиною; v_0 — модуль початкової швидкості руху; L — дальність польоту тіла.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. За ділянкою шкали секундоміра (див. рисунок) визначте ціну поділки цієї шкали.



А	Б	В	Г
0,2 с на поділку	0,25 с на поділку	0,5 с на поділку	1 с на поділку

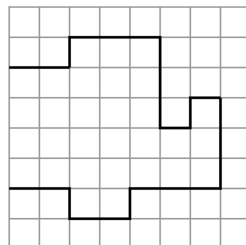
Розв'язання. Для визначення ціни поділки шкали слід розглянути *найменшу* поділку цієї шкали (тобто проміжок між найближчими штрихами). Із рисунка видно, що на 1 с припадає чотири таких найменших поділки. Отже, кожна поділка відповідає $\frac{1}{4}$ с. Правильна відповідь Б.

2. Визначте, чи можна застосовувати поняття «матеріальна точка» для описання руху потяга та описання руху сніжинки.

А	Б	В	Г
Можна в обох випадках для всіх задач	Можна лише стосовно сніжинки	Не можна в обох випадках	Можна в обох випадках залежно від умови задачі

Розв'язання. Ми говоримо про рух матеріальної точки, якщо в даній задачі розміри тіла є несуттєвими. Для обох тіл можна навести приклади таких задач: якщо потрібно визначити силу притягання сніжинки або потяга до Місяця, то можна не враховувати розміри не тільки цих тіл, а й Місяця. А от для визначення швидкості падіння сніжинки або часу руху потяга повз платформу слід урахувати розміри цих тіл. Отже, правильна відповідь Г.

3. На рисунку наведено траєкторію руху дівчинки алеями парку. Визначте, у скільки разів шлях перевищує модуль переміщення за весь час руху.



А	Б	В	Г
У 2 рази	У 4 рази	У 6 разів	У 8 разів

Розв'язання. Згадаємо, що переміщення — це вектор, який з'єднує початкову точку траєкторії з кінцевою. Довжина (модуль) цього вектора — просто відстань між цими точками. У даному випадку вона дорівнює $4a$ (тут a — довжина сторони клітинки). Тоді шлях (довжина траєкторії) становить $24a$. Отже, шлях перевищує модуль переміщення в 6 разів. Правильна відповідь В.

4. За який час автомобіль, що рухається зі швидкістю 54 км/год, долає відстань 300 м?

А	Б	В	Г
15 с	18 с	20 с	30 с

Розв'язання. Час t можна виразити через шлях l і швидкість v за формулою $t=\frac{l}{v}$. Для застосування будь-якої формули одиниці величин мають бути узгоджені одна з одною. У даному випадку найкраще виразити швидкість у м/с: $v=54\text{ км/год}=54\cdot\frac{1000\text{ м}}{3600\text{ с}}=15\text{ м/с}$. Отже, час руху дорівнює 20 с. Правильна відповідь В.

5. Автомобіль наздоганяє велосипедиста на прямій ділянці шосе. Відстань між ними зменшилася від 500 до 50 м протягом 0,5 хв. Визначте швидкість руху велосипедиста, якщо спідометр автомобіля показує 72 км/год.

А	Б	В	Г
10 км/год	18 км/год	36 км/год	54 км/год



Швидкість руху автомобіля дорівнює 20 м/с. За 30 с він наблизився до велосипедиста на 450 м. Отже, щосекунди відстань між велосипедистом і автомобілем зменшувалася на 15 м, тобто швидкість руху велосипедиста менша на 15 м/с. Вона дорівнює 5 м/с, або 18 км/год. Правильна відповідь Б.

Коментар. Це міркування можна сформулювати більш строго: швидкість руху автомобіля відносно велосипедиста напрямлена в бік руху, її модуль $v_{а-в} = 15$ м/с. Швидкість $\vec{v}_а$ руху автомобіля відносно Землі дорівнює сумі швидкості $\vec{v}_в$ руху велосипедиста відносно Землі та швидкості $\vec{v}_{а-в}$ руху автомобіля відносно велосипедиста: $\vec{v}_а = \vec{v}_в + \vec{v}_{а-в}$. Усі зазначені швидкості напрямлені в один бік, тому $v_а = v_в + v_{а-в}$, звідки $v_в = v_а - v_{а-в} = 5$ м/с.

6. Плавець має перепливти річку завширшки 180 м за найменший час. Швидкість течії річки дорівнює 0,3 м/с, швидкість руху плавця відносно води становить 0,9 м/с. Визначте, на скільки метрів течія знесе плавця під час переправи.

А	Б	В	Г
На 45 м	На 60 м	На 90 м	На 120 м



Зрозуміло, що за відсутності течії швидкість руху плавця має бути напрямлена під прямим кутом до берега. Оскільки швидкість течії напрямлена паралельно берегам, вона не впливає на час переправи, тобто швидкість руху плавця *відносно води* й тепер має бути перпендикулярною до швидкості течії. Таким чином, рух плавця можна «розбити» на рух уздовж річки зі швидкістю 0,3 м/с і рух, перпендикулярний до берегів, зі швидкістю 0,9 м/с. Оскільки перша швидкість утричі менша від другої, плавець переміститься за течією на відстань $\frac{1}{3} \cdot 180\,\text{м} = 60$ м. Правильна відповідь Б.

7. Гелікоптер пролетів по прямій 80 км зі швидкістю 240 км/год, а потім ще 200 км зі швидкістю 300 км/год. Визначте середню швидкість руху гелікоптера за весь час руху.

А	Б	В	Г
260 км/год	270 км/год	280 км/год	290 км/год



Це дуже просто! Слід лише знайти середнє арифметичне двох значень швидкості руху: $\frac{240+300}{2}=270$ (км/год). Виходить, що правильна відповідь Б.

Коментар. ***Це неправильно!*** Слід виходити з *означення* середньої швидкості руху. Це векторна величина, яку можна визначити через переміщення $\vec{s}$ тіла за час t: $\vec{v}_{\text{сер}}=\frac{\vec{s}}{t}$. Очевидно, що в даному завданні розглядається *модуль* середньої швидкості руху $v_{\text{сер}}=\frac{s}{t}$. Для прямолінійного руху без зміни напрямку модуль середньої швидкості збігається із середньою шляховою швидкістю, яка дорівнює $\frac{l}{t}$. Із означення випливає, що потрібно знайти повний час t руху: $t=t_1+t_2=\frac{s_1}{v_1}+\frac{s_2}{v_2}=\frac{1}{3}+\frac{2}{3}=1$ (год). Оскільки $s=s_1+s_2=280$ км, отримуємо $v_{\text{сер}}=280$ км/год. Правильна відповідь В.

8. Турист рухався прямим шляхом. Спочатку 3 год він ішов зі швидкістю 7 км/год, а потім ще 2 год — зі швидкістю 3 км/год. Визначте середню швидкість руху туриста на всьому шляху.

А	Б	В	Г
2,8 км/год	3,6 км/год	4,5 км/год	5,4 км/год



Одну відповідь (А) можна відкинути відразу: середня швидкість руху не може бути меншою від найменшої швидкості руху. Турист пройшов спочатку 21 км, а потім ще 6 км. Отже, він пройшов по прямій 27 км за 5 год. Середня швидкість його руху становила 5,4 км/год. Правильна відповідь Г.

9. Велосипедист проїхав повз зустрічну колону автомобілів за 1 хвилину, рухаючись зі швидкістю 16 км/год. Визначте довжину колони, якщо швидкість її руху дорівнює 56 км/год.

А	Б	В	Г
1200 м	720 м	670 м	400 м

Розв'язання. Швидкості руху велосипедиста та колони автомобілів (відповідно v_1 і v_2) наведені, безумовно, відносно Землі. У системі ж відліку, в якій колона є нерухомою, швидкість руху велосипедиста $v = v_1 + v_2 = 72$ км/год $= 20$ м/с. Отже, за час $t = 1$ хв $= 60$ с велосипедист переміщується відносно колони на відстань $s = vt = 1200$ м. Саме такою є довжина колони. Правильна відповідь А.

10. Потяг, який рухався зі швидкістю 54 км/год, почав гальмувати перед зупинкою*. Визначте модуль прискорення руху потяга, якщо час гальмування дорівнює 50 с.

А	Б	В	Г
0,3 м/с^2	0,75 м/с^2	1,1 м/с^2	3,3 м/с^2

Розв'язання. Гальмування або розгін зазвичай можна розглядати як прямолінійний рівноприскорений рух. Отже, $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$. Модуль прискорення $a = \frac{|v - v_0|}{t}$. Оскільки модуль початкової швидкості $v_0 = 15$ м/с, а кінцева швидкість v дорівнює нулю, отримаємо $a = 0{,}3$ м/с^2. Правильна відповідь А.

11. Кулька скочується похилою площиною без початкової швидкості з прискоренням руху 20 см/с^2. Визначте час руху кульки, якщо довжина похилої площини дорівнює 1,6 м.

А	Б	В	Г
2 с	4 с	8 с	16 с

Розв'язання. Модуль переміщення при прямолінійному рівноприскореному русі без початкової швидкості $s = \frac{at^2}{2}$, звідки $t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$. Підставивши значення s і $a = 0{,}2$ м/с^2, отримаємо $t = 4$ с. Правильна відповідь Б.

---

* Зверніть увагу: тут і далі розгін і гальмування транспорту вважаються рівноприскореними рухами.

12. За швидкості 72 км/год гальмівний шлях автомобіля становить 50 м. Визначте модуль прискорення руху автомобіля під час гальмування.

А	Б	В	Г
2 м/с^2	2,5 м/с^2	4 м/с^2	8 м/с^2

Розв'язання. Оскільки кінцева швидкість руху автомобіля дорівнює нулю, модуль переміщення автомобіля при гальмуванні (гальмівний шлях) $s = \frac{v_0^2}{2a}$, звідки модуль прискорення руху $a = \frac{v_0^2}{2s}$. Підставивши значення початкової швидкості руху $v_0 = 20$ м/с, отримаємо $a = 4$ м/с^2. Правильна відповідь В.

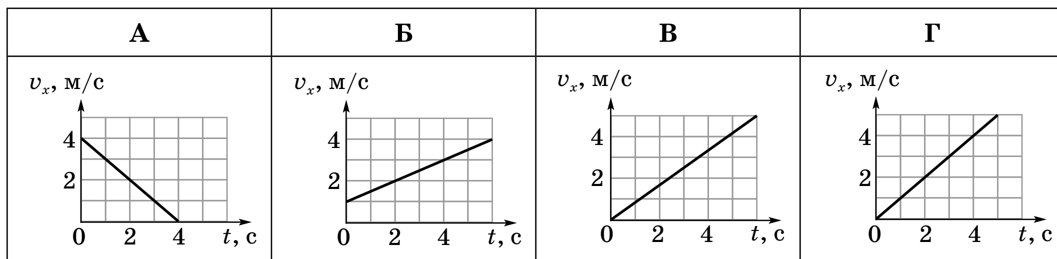
13. Матеріальна точка рухається вздовж осі Ox. Залежність координати від часу має вигляд $x = -3 + 6t - t^2$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте значення проекції початкової швидкості v_{0x} і проекції прискорення a_x руху.

А	Б	В	Г
$v_{0x} = -3$ м/с; $a_x = -1$ м/с^2	$v_{0x} = 6$ м/с; $a_x = -1$ м/с^2	$v_{0x} = 6$ м/с; $a_x = -2$ м/с^2	$v_{0x} = -3$ м/с; $a_x = 6$ м/с^2

Розв'язання. Наведена формула є окремим випадком загальної формули залежності $x(t)$ для прямолінійного рівноприскореного руху: $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. Зіставлення формул показує, що $x_0 = -3$ м; $v_{0x} = 6$ м/с; $a_x = -2$ м/с^2. Правильна відповідь В.

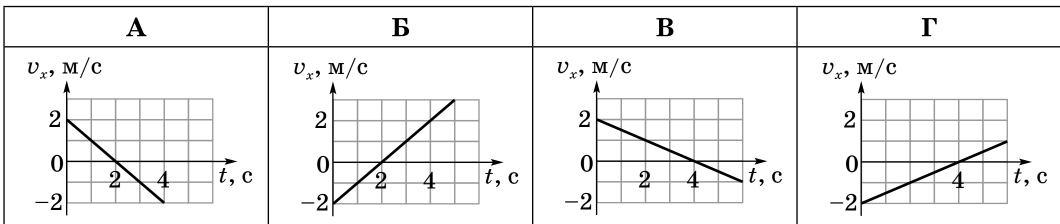
14. Тіло рухається вздовж осі Ox. Визначте, який графік залежності проекції швидкості руху від часу відповідає рівноприскореному рухові з прискоренням $a_x = 1$ м/с^2.

А	Б	В	Г



Розв'язання. Усі наведені графіки прямолінійні, тобто відповідають рівноприскореним рухам. Треба вибрати такий графік, щоб кожної секунди проекція швидкості v_x руху збільшувалася на 1 м/с. Цій умові відповідає тільки графік Г. Правильна відповідь Г.

15. Матеріальна точка рухається вздовж осі Ox. Залежність проекції переміщення від часу має вигляд $s_x = -2t + 0{,}5t^2$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте, який графік залежності проекції швидкості руху від часу відповідає даному рухові.



Розв'язання. Наведена формула є окремим випадком загальної формули залежності $s_x(t)$ для прямолінійного рівноприскореного руху: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. Зіставлення формул показує, що $v_{0x} = -2$ м/с; $a_x = 1\ \text{м/с}^2$. Графік $v_x(t)$ — пряма лінія; $v_x(t) = v_{0x} + a_x t = -2 + t$. Правильна відповідь Б.

16. Автомобіль за 30 с прямолінійного рівноприскореного руху збільшив швидкість свого руху від 36 до 72 км/год. Визначте пройдений автомобілем шлях.

А	Б	В	Г
0,45 км	0,9 км	1,1 км	1,6 км

Розв'язання. Найкраще скористатися тим, що при прямолінійному рівноприскореному русі середня швидкість руху дорівнює середньому арифметичному початкової та кінцевої швидкостей. Тому шлях (у даному випадку він дорівнює модулю переміщення) $l = \frac{v_0 + v}{2}t = \frac{10+20}{2}\cdot 30 = 450$ (м). Правильна відповідь А.

17. Камінець підкинули вертикально вгору з початковою швидкістю руху 15 м/с. На якій висоті над початковою точкою буде камінець через 1 с? Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10\ \text{м/с}^2$.

А	Б	В	Г
2,5 м	5 м	7,5 м	10 м

Розв'язання. Можна скористатися формулою залежності проекції переміщення тіла від часу при прямолінійному рівноприскореному русі. Якщо вісь Oy напрямлена вгору, то $s_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$. Ми врахували, що $v_{0y} = v_0$, $g_y = -g$. Отже, $s_y = 10$ м. Правильна відповідь Г.

18. Установіть відповідність «формула, що описує рух тіла вздовж осі Ox, — характер руху тіла». Значення всіх величин наведено в СІ.

1 $s_x = 5t - 2t^2$

2 $v_x = 5 + 2t$

3 $s_x = 5t$

4 $v_x = 5t$

А Прямолінійний рівномірний рух зі швидкістю 5 м/с

Б Прямолінійний рівноприскорений рух; модуль прискорення дорівнює $5\,м/с^2$

В У момент $t = 1{,}25$ с напрямок руху змінюється на протилежний

Г Прямолінійний рівноприскорений рух; модуль прискорення дорівнює $2\,м/с^2$

Д Прямолінійний рівномірний рух зі швидкістю 2 м/с

Розв'язання. Перш за все «розберімося» з прямолінійним рівномірним рухом. Під час такого руху v_x не змінюється, а s_x лінійно залежить від часу: $s_x = v_x t$. Цій умові відповідає тільки формула 3 (швидкість руху 5 м/с). Формули 2 і 4 є окремими випадками формули $v_x = v_{0x} + a_x t$, тобто описують прямолінійний рівноприскорений рух з прискоренням 2 і $5\,м/с^2$ відповідно. Формула 1 є окремим випадком формули $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ і описує прямолінійний рівноприскорений рух, для якого $v_{0x} = 5$ м/с, $a_x = -4$ м/с². Для такого руху $v_x = 5 - 4t$. Отже, у момент $t = 1{,}25$ с проекція швидкості v_x руху змінює знак на протилежний (тобто напрямок руху змінюється на протилежний). Правильна відповідь: 1–В; 2–Г; 3–А; 4–Б.

19. Визначте графік залежності координати від часу, який відповідає прямолінійному рівноприскореному рухові вздовж осі Ox за умови $v_{0x} > 0$, $a_x < 0$.

А	Б	В	Г
x, O, t	x, O, t	x, O, t	x, O, t

Розв'язання. Графік має бути параболою; проекція швидкості v_x руху спочатку додатна, але вона зменшується і стає від'ємною; отже, координата x спочатку збільшується (усе повільніше), потім сягає максимуму та починає зменшуватися. Правильна відповідь В.

20. Шків радіусом 5 см рівномірно обертається. Визначте кутову швидкість обертання шківа, якщо лінійна швидкість руху точок його обода дорівнює 0,6 м/с.

А	Б	В	Г
0,03 рад/с	3 рад/с	8,3 рад/с	12 рад/с

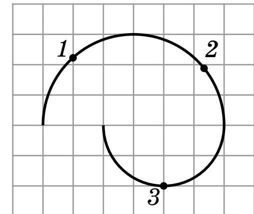
Розв'язання. Лінійна швидкість v пов'язана з кутовою швидкістю ω співвідношенням $v = \omega r$. Отже, $\omega = \frac{v}{r}$. Підставивши числові значення (зокрема, $r = 0{,}05$ м), отримаємо $\omega = 12$ рад/с. Правильна відповідь Г.

21. Тіло рівномірно рухається по колу зі швидкістю 6 м/с і прискоренням $0{,}3\ \text{м/с}^2$. Визначте радіус кола.

А	Б	В	Г
1,8 м	20 м	120 м	320 м

Розв'язання. Під час рівномірного руху по колу прискорення руху тіла напрямлене до центра кола (це так зване доцентрове прискорення); модуль прискорення $a = \frac{v^2}{r}$. Звідси $r = \frac{v^2}{a} = 120$ (м). Правильна відповідь В.

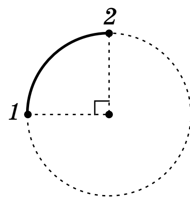
22. Тіло рухається з незмінною за модулем швидкістю за траєкторією, наведеною на рисунку (ця траєкторія складається з двох півкіл). Порівняйте a_1, a_2, a_3 — модулі доцентрового прискорення тіла в зазначених точках траєкторії.



А	Б	В	Г
$a_1 < a_2 < a_3$	$a_1 < a_2 = a_3$	$a_1 = a_2 < a_3$	$a_1 = a_2 > a_3$

Розв'язання. Модуль доцентрового прискорення $a = \frac{v^2}{r}$, отже, за незмінного модуля швидкості руху він тим більший, чим менший радіус кривизни траєкторії. Правильна відповідь В.

23. Тіло, яке рівномірно рухається по колу радіусом R, за час t перемістилося з точки 1 у точку 2 (див. рисунок). Установіть відповідність «математичний вираз — фізична величина, яка характеризує рух тіла».



1 $\frac{\pi R}{2t}$

2 $\sqrt{2}R$

3 $\frac{\pi}{2t}$

4 $\frac{\pi^2 R}{4t^2}$

А Шлях

Б Модуль переміщення

В Швидкість руху

Г Прискорення руху

Д Кутова швидкість

Розв'язання. За час t тіло пройшло чверть кола, тобто шлях $l=\frac{2\pi R}{4}=\frac{\pi R}{2}$, а кут повороту відповідного радіуса $\varphi=\frac{\pi}{2}$ рад. Швидкість руху $v=\frac{l}{t}=\frac{\pi R}{2t}$, а кутова швидкість $\omega=\frac{\varphi}{t}=\frac{\pi}{2t}$. Доцентрове прискорення $a=\frac{v^2}{R}=\frac{\pi^2 R}{4t^2}$. Модуль переміщення (відстань між точками 1 і 2) легко знайти як гіпотенузу прямокутного трикутника з катетами R. Правильна відповідь: 1–В; 2–Б; 3–Д; 4–Г.

24. Кульку кинули під кутом до горизонту. Визначте напрямки швидкості $\vec{v}$ і прискорення $\vec{a}$ руху кульки в довільній точці траєкторії. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$\vec{v}$ — по дотичній до траєкторії; $\vec{a}$ — вертикально вниз	$\vec{v}$ і $\vec{a}$ — по дотичній до траєкторії	$\vec{v}$ — вертикально вниз; $\vec{a}$ — по дотичній до траєкторії	$\vec{v}$ і $\vec{a}$ — вертикально вниз



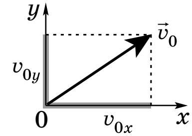
Швидкість криволінійного руху тіла завжди напрямлена по дотичній до траєкторії. А от прискорення... Рух кульки можна «розбити» на дві складові — по горизонталі та вертикалі. Рух кульки по горизонталі рівномірний, тобто без прискорення, а по вертикалі — рівноприскорений, з прискоренням вільного падіння. Отже, правильна відповідь А.

25. Камінцю надали початкової швидкості v_0 під кутом α до горизонту. Визначте формулу залежності від часу проекції швидкості руху v_x камінця на горизонтальну вісь Ox. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$v_x = v_0$	$v_x = v_0 \sin\alpha - gt$	$v_x = v_0 \cos\alpha$	$v_x = v_0 \cos\alpha - gt$



Перш за все визначимо проекції *початкової* швидкості руху на вертикальну та горизонтальну óсі (див. рисунок). Отримаємо: $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$, $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$. Під час руху проекція швидкості на горизонтальну вісь не змінюється. Отже, $v_x = v_{0x}$. Правильна відповідь В.



26. М'ячу надали початкової швидкості v_0 руху під кутом α до горизонту. Визначте формулу залежності від часу проекції переміщення s_y м'яча на вісь Oy, напрямлену вертикально вгору. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$s_y = v_0 t \cos\alpha$	$s_y = v_0 t \cos\alpha - \frac{gt^2}{2}$	$s_y = v_0 t$	$s_y = v_0 t \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}$

Розв'язання. Рух м'яча по вертикалі є рівноприскореним. Оскільки $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$, $a_y = -g$, отримуємо $s_y = v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} = v_0 t \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}$. Правильна відповідь Г.

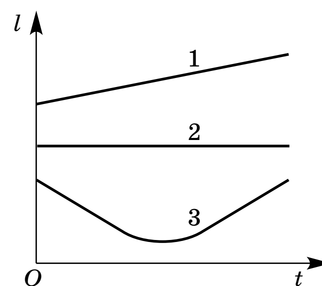
27. Тіло кидають горизонтально з висоти h. Визначте, у скільки разів зміниться горизонтальна дальність польоту тіла, якщо збільшити висоту h втричі. Вважайте, що початкова швидкість руху не змінюється; опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
Не зміниться	Збільшиться у $\sqrt{3}$ разу	Збільшиться у 3 рази	Збільшиться у 9 разів

Розв'язання. Рух тіла по горизонталі є рівномірним. Отже, горизонтальна дальність польоту тіла прямо пропорційна часові руху. А цей час такий самий, як час падіння тіла без початкової швидкості з висоти h. Зі співвідношення $h = \frac{gt^2}{2}$ отримуємо $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. Отже, час руху та горизонтальна дальність польоту тіла прямо пропорційні $\sqrt{h}$. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Радіолокатор визначає відстань l до літаків у зоні спостереження. На рисунку наведено графіки залежності цієї відстані від часу для кількох літаків. Який літак (або які літаки) міг (могли) рухатися прямолінійно рівномірно?



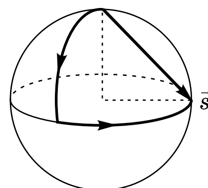
А	Б	В	Г
Тільки 1	Тільки 2	Тільки 1 і 2	Тільки 1 і 3

Розв'язання. Графік 2 відповідає незмінній відстані між літаком і радіолокатором, тобто рухові літака сферичною поверхнею, центр якої збігається з радіолокатором. Такий рух не може бути прямолінійним. Графік 1 відповідає рівномірному рухові літака по прямій, яка проходить через точку розташування радіолокатора. Графік 3 може відповідати рівномірному рухові літака по прямій, яка не проходить через точку розташування радіолокатора: літак спочатку наближається до радіолокатора, а потім віддаляється від нього. Отже, правильна відповідь Г.

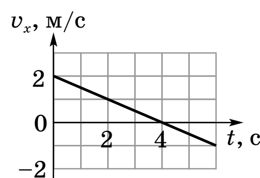
2. Літак, рухаючись від Північного полюса на південь, долетів до екватора. Після цього він повернув на схід і пролетів чверть екватора. Визначте, у скільки разів шлях літака перевищує модуль його переміщення відносно Землі. Поверхню Землі вважайте сферичною.

А	Б	В	Г
$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{\sqrt{2}}$	$\frac{3\pi}{2}$

Розв'язання. Позначимо радіус Землі R. Можна вважати, що літак рухався сферою саме такого радіуса. Кожна з двох ділянок траєкторії — чверть кола радіуса R, тому шлях $l = 2 \cdot \frac{\pi R}{2} = \pi R$. Що ж до модуля переміщення s, то він дорівнює відстані між полюсом і точкою екватора: $s = \sqrt{2} R$ (див. рисунок). Отже, $\frac{l}{s} = \frac{\pi}{\sqrt{2}}$. Правильна відповідь В.



3. Тіло рухається вздовж осі Ox. За наведеним графіком залежності проекції швидкості руху тіла від часу визначте найбільший модуль переміщення тіла.



А	Б	В	Г
2 м	4 м	6 м	8 м



Переміщення можна визначити як площу під графіком $v_x(t)$... Але в який момент модуль переміщення найбільший? Розглянемо графік: судячи з нього, тіло рухалося 4 с у напрямку осі Ox, а потім — у зворотному напрямку. Отже, після моменту $t = 4$ с тіло наближається до початкової точки і модуль переміщення зменшується (не до нуля). Найбільший модуль переміщення (через 4 с руху) знаходимо як площу прямокутного трикутника на графіку: $s_{max} = \frac{4 \cdot 2}{2} = 4$ (м). Правильна відповідь Б.

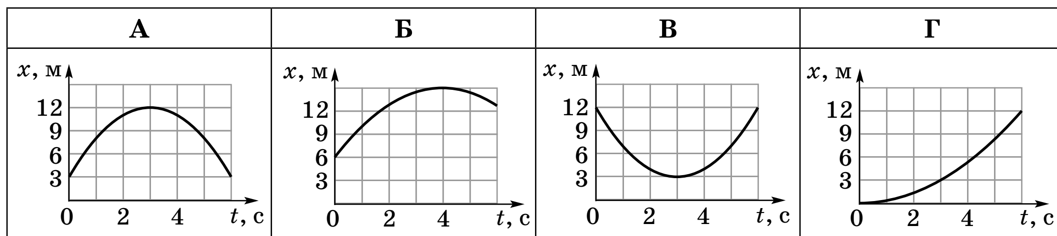
4. Автомобіль проїхав прямим шосе з одного міста до іншого. Третину шляху він рухався зі швидкістю $v_1 = 90$ км/год, а решту — в умовах ожеледиці — зі швидкістю $v_2 = 45$ км/год. Визначте середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху.

А	Б	В	Г
54 км/год	60 км/год	67 км/год	75 км/год

Розв'язання. Позначимо відстань між містами $3s$. Згідно з означенням середньої швидкості руху $v_{сер} = \frac{3s}{t} = \frac{3s}{\frac{s}{v_1} + \frac{2s}{v_2}} = \frac{3v_1 v_2}{2v_1 + v_2} = 54$ (км/год). Відповідь не залежить від значення s. Правильна відповідь А.

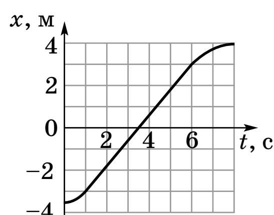
5. Залежність проекції швидкості прямолінійного рівноприскореного руху від часу описується формулою $v_x = 6 - 2t$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте, який з наведених графіків залежності координати від часу відповідає даному рухові.

А	Б	В	Г



Розв'язання. Усі наведені графіки схожі на параболи — так і має бути для прямолінійного рівноприскореного руху. Оскільки ми не знаємо початкового значення координати, то *не можемо побудувати* правильний графік. Але напевно можемо визначити явно неправильні графіки. З наведеної формули бачимо: до моменту $t = 3$ с проекція швидкості $v_x > 0$ (координата збільшується), а після цього моменту $v_x < 0$ (координата зменшується). Отже, момент $t = 3$ с відповідає вершині параболи (параболу розташовано вершиною вгору). Такій умові відповідає тільки графік А.

6. За поданим графіком залежності координати тіла від часу визначте можливий графік залежності проекції швидкості цього руху від часу.



А	**Б**
v_x, м/с; 2; 1; 0; 2; 4; 6; t, с	v_x, м/с; 2; 1; 0; 2; 4; 6; t, с
В	**Г**
v_x, м/с; 2; 1; 0; 2; 4; 6; t, с	v_x, м/с; 2; 1; 0; 2; 4; 6; t, с



Завдання здається непростим, адже характер руху *змінюється*: швидкість руху зростає, потім якийсь час є незмінною, після цього зменшується до нуля (це видно з того, як змінюється кут нахилу дотичної до графіка). Проте нам *не потрібно будувати* графік залежності $v_x(t)$! Ми маємо просто «відсіяти» неправильні графіки. А для цього достатньо уважніше розглянути ділянку графіка, яка відповідає рівномірному рухові, тобто проміжку часу від $t_1 = 1$ с до $t_2 = 6$ с. За час $\Delta t = 5$ с координата змінилася від $x_1 = -3$ м до $x_2 = 3$ м, тобто збільшилася на $\Delta x = 6$ м. Отже, проекція швидкості руху $v_x = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = 1{,}2$ м/с. Цій умові відповідає тільки графік Б.

7. Тіло вільно падає з висоти $H = 80$ м. Визначте, за який час воно проходить останні 35 м свого шляху. Вважайте, що $g = 10\ \text{м/с}^2$. Відповідь наведіть *у секундах.*

Розв'язання. Розіб'ємо подумки всю траєкторію руху на дві ділянки: довжина першої становить $H - s$, довжина другої — s (тут $s = 35$ м). Із формули $h = \frac{gt^2}{2}$ отримуємо повний час падіння $t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$; аналогічно визначаємо час проходження першої ділянки $t_2 = \sqrt{\frac{2(H-s)}{g}}$ (цю ділянку тіло теж проходить без початкової швидкості). Отже, тіло долає другу ділянку за час $t = t_1 - t_2 = \sqrt{\frac{2H}{g}} - \sqrt{\frac{2(H-s)}{g}} = 1$ (с).
Відповідь: 1.

8. Камінець підкинули вертикально вгору з початковою швидкістю руху 20 м/с. Визначте шлях, який пройшов камінець за перші 3 с руху. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10\ \text{м/с}^2$.

А	Б	В	Г
15 м	20 м	25 м	40 м



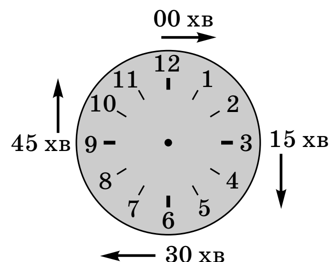
Якщо вісь Oy напрямлена вгору, то $v_{0y} = v_0$, $g_y = -g$ і $s_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2} = v_0 t - \frac{gt^2}{2} = 15$ м. Таким чином виходить, що правильна відповідь А.

Коментар. ***Це неправильно!*** Шлях l збігається з модулем переміщення в разі прямолінійного руху, напрямок якого *не змінюється* на протилежний! А в нашому випадку рух угору тривав час $t_1 = \frac{v_0}{g} = 2$ с (за час t_1 швидкість руху камінця зменшилася до нуля, камінець пройшов шлях $l_1 = \frac{v_0 t_1}{2} = 20$ м). Протягом решти часу $t_2 = 1$ с відбувалося вільне падіння камінця без початкової швидкості; камінець пройшов шлях $l_2 = \frac{gt_2^2}{2} = 5$ м. Отже, шлях, пройдений камінцем за перші 3 с руху, $l = l_1 + l_2 = 25$ м. Правильна відповідь В.

9. Дівчинка спостерігає за рухом точки на кінці хвилинної стрілки настінного годинника. Установіть відповідність «напрямок швидкості руху зазначеної точки — час, який може показувати годинник».

1 Униз
2 Угору
3 Праворуч
4 Ліворуч

А 09.00
Б 11.15
В 13.20
Г 15.30
Д 17.45



Розв'язання. Коли точка рухається по колу, швидкість її руху напрямлена вздовж дотичної до кола. На рисунку зазначено моменти часу, коли швидкість руху кінця хвилинної стрілки напрямлена горизонтально або вертикально. Правильна відповідь: 1–Б; 2–Д; 3–А; 4–Г.

10. Автомобіль рухається прямолінійно зі швидкістю v руху, і його колеса не проковзують. Установіть відповідність «модуль миттєвої швидкості руху точки колеса відносно Землі — зазначена на рисунку точка».

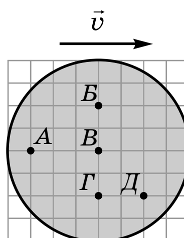
1 $\frac{v}{2}$

2 $\frac{v}{\sqrt{2}}$

3 v

4 $1{,}25v$

А Точка *А*
Б Точка *Б*
В Точка *В*
Г Точка *Г*
Д Точка *Д*



Розв'язання. Відсутність проковзування означає, що точка колеса, яка торкається дороги, на мить зупиняється (саме тому колесо залишає чіткий відбиток на м'якому ґрунті). Згадаємо, що під час обертання тіла на осі нерухомими лишаються точки саме на цій осі. Отже, рух колеса можна розглядати як обертання навколо *миттєвої осі*, яка проходить через точку торкання колеса з дорогою. Враховуємо також, що вісь колеса (точка *В* на рисунку) рухається зі швидкістю v, а відстань від цієї точки до миттєвої осі обертання $r_В = 4a$, де a — довжина сторони клітинки. Миттєва швидкість руху кожної із зазначених на рисунку точок колеса прямо пропорційна відстані від зазначеної точки до миттєвої осі обертання. Відповідні відстані знайдемо за рисунком: $r_А = \sqrt{(4a)^2 + (3a)^2} = 5a = 1{,}25 r_В$; $r_Б = 6a = 1{,}5 r_В$; $r_Г = 2a = \frac{r_В}{2}$;

$r_Д = \sqrt{(2a)^2 + (2a)^2} = 2\sqrt{2}a = \frac{r_В}{\sqrt{2}}$. Таким чином, $v_А = 1{,}25v_В = 1{,}25v$, $v_Б = 1{,}5v$, $v_Г = \frac{v}{2}$, $v_Д = \frac{v}{\sqrt{2}}$. Отже, правильна відповідь: 1–Г; 2–Д; 3–В; 4–А.

11. Камінцю надали початкової швидкості v_0 під кутом α до горизонту. Визначте формулу залежності модуля v швидкості руху камінця від часу. Опір повітря не враховуйте.

А	Б
$v = \sqrt{(v_0 \sin\alpha - gt)^2 + (v_0 \cos\alpha)^2}$	$v = v_0 - gt$
В	**Г**
$v = v_0 \sin\alpha - gt$	$v = \sqrt{(v_0 \sin\alpha - gt)^2 + (v_0 \cos\alpha - gt)^2}$

Розв'язання. Модуль швидкості руху можна виразити через її проекції: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$. Проекція швидкості руху на горизонтальну вісь не змінюється: $v_x = v_0 \cos\alpha$. Проекція швидкості руху на вертикальну вісь змінюється з часом: $v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin\alpha - gt$. Отже, правильна відповідь А.

12. Тіло кидають під кутом до горизонту. Визначте, як і на скільки зміниться дальність польоту цього тіла, якщо збільшити модуль початкової швидкості руху втричі, не змінивши її напрямку. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
Не зміниться	Збільшиться у 3 рази	Збільшиться у 6 разів	Збільшиться у 9 разів

Розв'язання. У цьому завданні слід вважати, що тіло падає на ту саму горизонтальну поверхню, з якої його кинули. Отже, дальність L польоту дорівнює проекції переміщення на горизонтальну вісь. Рух по горизонталі рівномірний, зі швидкістю $v_0 \cos\alpha$. Отже, дальність польоту прямо пропорційна добутку початкової швидкості v_0 на час руху t. А час t можна визначити як подвоєний час руху вгору: $t = 2\frac{v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$, тобто він є прямо пропорційним v_0. Отже, дальність польоту прямо пропорційна *квадрату* початкової швидкості руху: $L \sim v_0^2$. Тому правильна відповідь Г.

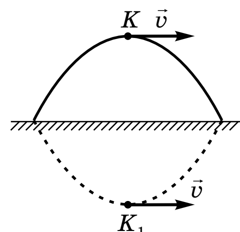
13. Кут нахилу ствола гармати до горизонту збільшили від 15 до 45°. Визначте, у скільки разів збільшилася дальність польоту снарядів. Опір повітря не враховуйте.

Розв'язання. Дальність польоту дорівнює добутку швидкості рівномірного руху по горизонталі на час руху: $L = v_{0x}t = v_0\cos\alpha\cdot\frac{2v_0\sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}$. Отже, дальність польоту прямо пропорційна $\sin 2\alpha$. Оскільки $\frac{\sin 90°}{\sin 30°} = 2$, дальність польоту снарядів збільшилася в 2 рази.
Відповідь: 2.

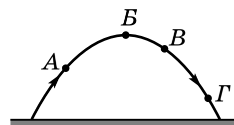
14. Маленький камінець, який кинули зі швидкістю v_0 під кутом α до горизонту, летить над дзеркальною поверхнею озера. Визначте швидкість руху камінця відносно його зображення у водному «дзеркалі», коли камінець проходить найвищу точку своєї траєкторії.

А	Б	В	Г
$v_0\sin\alpha$	$v_0\cos\alpha$	$2v_0\sin\alpha$	0

Розв'язання. Швидкість руху камінця K (див. рисунок) напрямлена по дотичній до його траєкторії. У найвищій точці траєкторії ця швидкість горизонтальна. Зображення K_1 камінця у водному «дзеркалі» рухається в тому самому напрямку з тією самою за модулем швидкістю. Отже, швидкість руху камінця відносно його зображення дорівнює нулю. Правильна відповідь Г.



15. Тіло кинули під кутом до горизонту. Визначте точку траєкторії (див. рисунок), в якій кут між напрямком швидкості та напрямком прискорення руху тіла є найменшим. Опір повітря не враховуйте.



А	Б	В	Г
Точка *А*	Точка *Б*	Точка *В*	Точка *Г*

Розв'язання. За відсутності опору повітря тіло рухається тільки під дією сили тяжіння. Тому його прискорення весь час напрямлене вниз і дорівнює прискоренню вільного падіння. Швидкість руху напрямлена по дотичній до траєкторії. Кут між напрямками швидкості та прискорення спочатку тупий, у верхній точці траєкторії — прямий, після проходження цієї точки він зменшується. Чим нижче опускається тіло, тим менший цей кут. Правильна відповідь Г.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Куля рухається зі швидкістю 600 м/с, а потяг — зі швидкістю 72 км/год. Визначте, у скільки разів швидкість руху кулі більша за швидкість руху потяга.

А	Б	В	Г
У 20 разів	У 30 разів	У 200 разів	У 300 разів

2. Рух катера між двома пристанями триває 2 год, якщо катер рухається за течією річки, і 4 год, якщо він рухається проти течії. Визначте час руху між цими пристанями за течією дерев'яного іграшкового кораблика, який упав у воду.

А	Б	В	Г
3 год	4 год	6 год	8 год

3. Колона спортсменів завдовжки 180 м рухається зі швидкістю 3,5 м/с. Тренер пробігає від першого до останнього спортсмена та повертається до голови колони за 110 с, рухаючись в обидва боки з однаковою за модулем швидкістю. Визначте швидкість руху тренера.

А	Б	В	Г
5,5 м/с	6,0 м/с	6,5 м/с	7,0 м/с

4. Два потяги (пасажирський і товарний), які рухаються прямолінійно рівномірно в зустрічних напрямках сусідніми коліями залізниці, проходять один повз одного протягом 25 с. Довжина пасажирського потяга дорівнює 350 м, модуль швидкості його руху — 24 м/с. Визначте модуль швидкості руху товарного потяга, якщо його довжина становить 550 м.

А	Б	В	Г
6 м/с	8 м/с	12 м/с	36 м/с

5. Ширина річки дорівнює 60 м, швидкість течії — 0,6 м/с. Плавець бажає перепливти річку за найменший час. Визначте, на скільки течія знесе плавця під час переправи, якщо швидкість руху плавця відносно води становить 1 м/с.

А	Б	В	Г
24 м	36 м	96 м	100 м

6. Ширина річки дорівнює 80 м, швидкість течії — 0,6 м/с. Плавець бажає перепливти річку найкоротшим шляхом. Визначте час переправи плавця, якщо швидкість його руху відносно води становить 1 м/с.

А	Б	В	Г
50 с	80 с	100 с	200 с

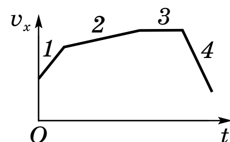
7. Турист пройшов прямим шляхом 8 км за 1,5 год, а потім ще 2 год рухався таким самим шляхом зі швидкістю 3 км/год. Визначте середню швидкість руху туриста за весь час руху.

А	Б	В	Г
3,5 км/год	4 км/год	4,5 км/год	5 км/год

8. Камінець, який кинули з вікна будинку на висоті 5 м, упав на землю на відстані 12 м від стіни будинку. Визначте модуль переміщення камінця, якщо траєкторія його руху лежить у площині, перпендикулярній до стіни будинку.

А	Б	В	Г
5 м	7 м	13 м	17 м

9. На рисунку наведено графік залежності проекції швидкості руху потяга від часу при прямолінійному русі. Визначте інтервал часу, протягом якого модуль прискорення був найбільшим.

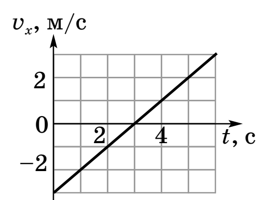


А	Б	В	Г
Інтервал 1	Інтервал 2	Інтервал 3	Інтервал 4

10. Матеріальна точка рухається вздовж осі Ox. Залежність координати від часу має вигляд $x = 4 + 5t - 2t^2$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте значення проекцій початкової швидкості v_{0x} і прискорення a_x.

А	Б	В	Г
$v_{0x} = 4$ м/с; $a_x = -2$ м/с^2	$v_{0x} = 5$ м/с; $a_x = -2$ м/с^2	$v_{0x} = 5$ м/с; $a_x = -4$ м/с^2	$v_{0x} = 4$ м/с; $a_x = 5$ м/с^2

11. Тіло рухається вздовж осі Ox. За наведеним графіком залежності проекції швидкості руху тіла від часу визначте формулу залежності проекції переміщення s_x від часу. Значення всіх величин у формулах наведено в СІ.

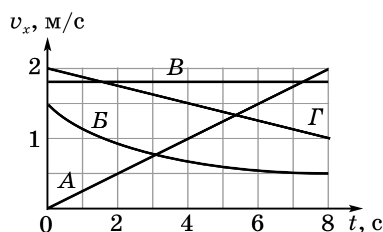


А	Б	В	Г
$s_x = -3t + 3t^2$	$s_x = -3t + 0{,}5t^2$	$s_x = -3t + t^2$	$s_x = -3t + 2t^2$

12. Тіло рухається вздовж осі Ox. Залежність координати тіла від часу описується рівнянням $x = 11 - 5t + t^2$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте проекцію швидкості руху тіла на вісь Ox через 3 с після початку відліку часу.

А	Б	В	Г
−15 м/с	1 м/с	5 м/с	9 м/с

13. На рисунку зображено графіки залежності проекції швидкості v_x руху чотирьох тіл (*А*, *Б*, *В*, *Г*), що рухаються вздовж осі Ox, від часу t. Визначте, яке тіло пройшло за 8 с найбільший шлях.



А	Б	В	Г
Тіло *А*	Тіло *Б*	Тіло *В*	Тіло *Г*

14. Визначте час вільного падіння тіла з висоти 45 м, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
3 с	4 с	5 с	7 с

15. Точка A розташована на диску, який рівномірно обертається. Ця точка рухається зі швидкістю v і прискоренням a. Визначте швидкість і прискорення руху точки B, яка розташована на тому самому диску втричі далі від осі обертання, ніж точка A.

А	Б	В	Г
$3v$; $3a$	$3v$; $6a$	$3v$; $9a$	$9v$; $9a$

16. Матеріальна точка рівномірно рухається по колу радіусом 50 см, повертаючись у початкове положення через кожні 2 с. Визначте модуль швидкості руху матеріальної точки, вважаючи, що $\pi = 3{,}14$.

А	Б	В	Г
1,57 м/с	3,14 м/с	6,28 м/с	12,56 м/с

17. Автомобіль рухається прямою ділянкою шосе. Визначте, яка точка із зазначених рухається відносно дороги з найбільшою за модулем швидкістю.

А	Б	В	Г
Центр колеса	Верхня точка колеса	Центр лобового скла	Нижня точка колеса

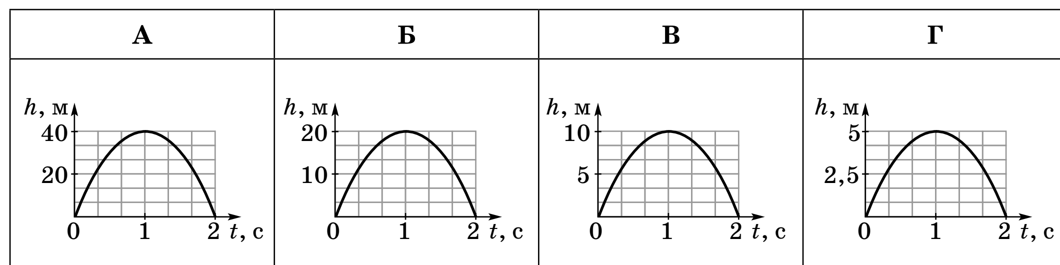
18. Визначте, у якої стрілки годинника — секундної чи хвилинної — частота обертання більша та в скільки разів.

А	Б	В	Г
У хвилинної, у 60 разів	У хвилинної, у 12 разів	У секундної, у 60 разів	У секундної, у 24 рази

19. М'яч підкинули вертикально вгору. Порівняйте модулі швидкості v і прискорення a руху м'яча в точках траєкторії 1 і 2, якщо точка 2 розташована вище за точку 1. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$v_1 > v_2$; $a_1 < a_2$	$v_1 < v_2$; $a_1 < a_2$	$v_1 = v_2$; $a_1 = a_2$	$v_1 > v_2$; $a_1 = a_2$

20. Камінець кинули вертикально вгору. Виберіть графік залежності висоти h підйому камінця від часу t. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.



21. Камінець кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 30 м/с. Визначте шлях, який пройшов камінець за перші 4 с руху. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
40 м	50 м	60 м	80 м

22. Тіло кидають під кутом до горизонту. Визначте, у скільки разів зміниться час польоту тіла, якщо зменшити модуль початкової швидкості руху вдвічі, не змінивши її напрямку? Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
Зменшиться у 2 рази	Зменшиться в 4 рази	Збільшиться у 2 рази	Збільшиться в 4 рази

23. Тіло кидають під кутом до горизонту. У скільки разів зміниться дальність польоту тіла, якщо збільшити модуль початкової швидкості в 4 рази, не змінивши її напрямку? Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
Збільшиться в 4 рази	Збільшиться у 8 разів	Збільшиться в 16 разів	Збільшиться в 64 рази

24. Камінцю надали початкової швидкості v_0 під кутом α до горизонту. Визначте формулу для знаходження висоти h найвищої точки траєкторії камінця. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$	$h = \frac{v_0^2 \sin \alpha}{2g}$	$h = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$	$h = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{2g}$

25. Камінцю надали початкової швидкості v_0 руху під кутом α до горизонту. Визначте формулу залежності від часу t проекції швидкості v_y руху камінця на вертикальну вісь Oy. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$v_y = v_0 \cos\alpha - gt$	$v_y = v_0 - gt\cos\alpha$	$v_y = v_0 - gt$	$v_y = v_0 \sin\alpha - gt$

26. Тіло кинули з висоти h, надавши йому горизонтальної початкової швидкості v_0. Визначте формулу для знаходження модуля v кінцевої швидкості руху тіла. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$v = v_0 + \sqrt{2gh}$	$v = v_0 + \sqrt{gh}$	$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$	$v = \sqrt{v_0^2 + gh}$

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між характером зміни швидкості $\vec{v}$ руху та прикладом руху.

1 Модуль $\vec{v}$ збільшується, напрямок не змінюється
2 $\vec{v}$ змінюється тільки за напрямком
3 Модуль $\vec{v}$ зменшується, напрямок не змінюється
4 Модуль $\vec{v}$ збільшується, напрямок змінюється

А Рух футбольного м'яча після удару футболіста
Б Рух шайби, що ковзає льодовим майданчиком
В Вільне падіння камінця
Г Рух точки на краю каруселі, що обертається
Д Рух тіла, яке кинули горизонтально з вікна

28. Установіть відповідність між напрямком або модулем прискорення руху і типом руху.

1 Прискорення та швидкість руху напрямлені однаково

2 Прискорення руху напрямлене перпендикулярно до швидкості руху

3 Прискорення руху напрямлене протилежно до швидкості руху

4 Прискорення руху дорівнює нулю

А Рівномірний рух по колу

Б Прямолінійний рух, швидкість руху збільшується

В Прямолінійний рух, швидкість руху зменшується

Г Рух по колу, швидкість руху збільшується

Д Прямолінійний рівномірний рух

29. Установіть відповідність між формулами, які описують рух уздовж осі Ox, і характером руху тіла. Значення всіх величин наведено в СІ; s_x і v_x — проекції відповідно переміщення та швидкості руху.

1 $s_x = 5t - t^2$

2 $v_x = 5 - t$

3 $s_x = 5t + t^2$

4 $v_x = 5 + t$

А Прямолінійний рівноприскорений рух, проекція прискорення $a_x = -1$ м/с^2

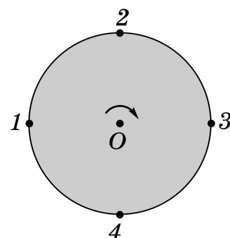
Б Прямолінійний рівноприскорений рух, проекція прискорення $a_x = -2$ м/с^2

В Прямолінійний рівноприскорений рух, проекція прискорення $a_x = 5$ м/с^2

Г Прямолінійний рівноприскорений рух, проекція прискорення $a_x = 1$ м/с^2

Д Прямолінійний рівноприскорений рух, проекція прискорення $a_x = 2$ м/с^2

30. Диск рівномірно обертається навколо осі O (див. рисунок). Установіть відповідність між зазначеними точками на диску та напрямками швидкості $\vec{v}$ і прискорення $\vec{a}$ руху.



1 Точка 1

2 Точка 2

3 Точка 3

4 Точка 4

А $\vec{v}$ — вправо, $\vec{a}$ — угору

Б $\vec{v}$ — угору, $\vec{a}$ — вправо

В $\vec{v}$ — вліво, $\vec{a}$ — угору

Г $\vec{v}$ — униз, $\vec{a}$ — вліво

Д $\vec{v}$ — вправо, $\vec{a}$ — униз

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Літак пролетів від Північного полюса до Південного, рухаючись уздовж меридіана. Визначте відношення пройденого літаком шляху до модуля переміщення відносно Землі. Поверхню Землі вважайте сферичною; $\pi = 3{,}14$.

32. Людина, що стоїть на ескалаторі, підіймається за 1 хв, а людина, що біжить ескалатором угору,— за 20 с. Визначте (*у секундах*) час підйому людини, що біжить, нерухомим ескалатором.

33. Літак торкається посадкової смуги, маючи швидкість руху 50 м/с, і зупиняється, пробігши по смузі 1600 м. Визначте (*у м/с*) швидкість руху літака за 400 м до точки зупинки.

34. В останню секунду вільного падіння тіло пройшло 5/9 усього шляху. Визначте (*у метрах*) висоту, з якої падало тіло. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

35. Тіло рівномірно рухається по колу радіусом 3 м, а модуль його прискорення дорівнює 12 м/с^2. Визначте (*у м/с*) модуль швидкості руху тіла.

36. Два автомобілі одночасно виїхали назустріч один одному з пунктів *А* і *Б*. Автомобілі зустрілися о 12-й годині та продовжили свій рух. Перший автомобіль прибув до пункту *Б* о 13-й годині, другий автомобіль прибув до пункту *А* о 16-й годині. Визначте (*у годинах*), о котрій годині виїхали автомобілі. Рух автомобілів вважайте прямолінійним рівномірним.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – 2 , 0 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31				,			33				,			35				,		
32				,			34				,			36				,		

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31				,			33				,			35				,		
32				,			34				,			36				,		

Розділ 2. ОСНОВИ ДИНАМІКИ

Що треба згадати

- **Рівнодійна $\vec{F}$ сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ..., прикладених до матеріальної точки:** $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$

- **Перший закон Ньютона:** $\vec{v} = \overrightarrow{\text{const}}$ за умови $F = 0$ (за відсутності зовнішніх сил або за умови їх взаємної компенсації тіло перебуває в спокої або рухається за інерцією прямолінійно рівномірно).

- **Другий закон Ньютона:** прискорення тіла $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, де $\vec{F}$ — рівнодійна прикладених до тіла сил; m — маса тіла.

- **Третій закон Ньютона:** $\vec{F}_{1-2} = -\vec{F}_{2-1}$ (під час взаємодії двох тіл виникають сили, рівні за модулем і напрямлені вздовж однієї прямої в протилежних напрямках).

- **Сила тяжіння:** $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$, де $\vec{g}$ — прискорення вільного падіння.

- **Закон всесвітнього тяжіння:** $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$, де F — сила гравітаційної взаємодії двох матеріальних точок масами m_1 і m_2; G — гравітаційна стала; r — відстань між матеріальними точками.

- **Перша космічна швидкість:** $v_{\text{I}} = \sqrt{G\frac{M}{R}}$, де M, R — відповідно маса та радіус планети.

- **Вага тіла, яке рухається з прискоренням:** $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$, де $\vec{a}$ — прискорення руху тіла.

  Якщо $\vec{a}$ напрямлене вгору $(\uparrow)$: $P = m(g + a)$.

  Якщо $\vec{a}$ напрямлене вниз $(\downarrow)$: $P = m(g - a)$.

- **Закон Гука:** $F_x = -kx$, де $\vec{F}$ — сила пружності; k — жорсткість пружини або стержня; x — видовження пружини або стержня ($x = l - l_0$, де l, l_0 — відповідно довжина деформованого та недеформованого тіла).

Сила тертя ковзання: $F_{\text{тер}} = \mu N$, де μ — коефіцієнт тертя; $\vec{N}$ — сила нормального тиску.

Сила тертя спокою: $F_{\text{тер}} \leqslant \mu N$.

Умови рівноваги тіла, на яке діють кілька сил:

1) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots = 0$;

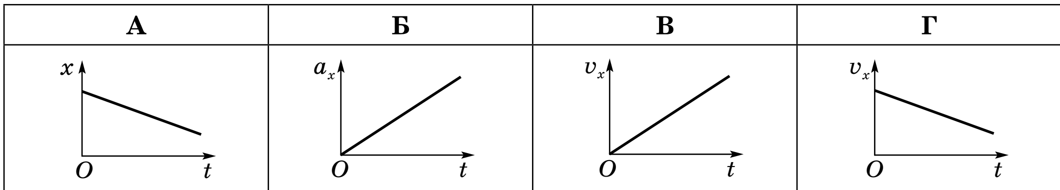
2) $M_1 + M_2 + \ldots = 0$, де $M = \pm Fl$ — момент сили; l — плече сили. Знак «+» відповідає моменту сили, яка намагається обертати тіло проти ходу годинникової стрілки; знак «−» відповідає моменту сили, яка намагається обертати тіло за ходом годинникової стрілки.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Кілька тіл рухаються вздовж осі Ox. Визначте графік, який відповідає руховi за інерцією.

А	Б	В	Г



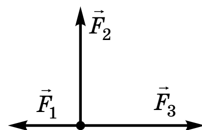
Розв'язання. Згадаємо, що рух за інерцією спостерігається за відсутності зовнішніх сил або за умови їх взаємної компенсації. Згідно першому закону Ньютона цей рух має бути прямолінійним рівномірним: залежність координат від часу є лінійною, швидкість руху не змінюється (тобто відповіді В і Г неправильні), прискорення дорівнює нулю (тобто відповідь Б неправильна). Отже, правильна відповідь А.

2. Автомобіль масою $m = 1{,}5$ т, рухаючись прямолінійно рівноприскорено, за $t = 10$ с збільшив швидкість свого руху від 22 до 58 км/год. Визначте модуль F рівнодійної сил, які діяли на автомобіль.

А	Б	В	Г
150 Н	1500 Н	3300 Н	5400 Н

Розв'язання. За час t швидкість руху автомобіля збільшилася на $\Delta v = 36$ км/год $= 10$ м/с. Отже, прискорення руху автомобіля $a = \dfrac{\Delta v}{t} = 1$ м/с^2. За другим законом Ньютона $F = ma = 1500$ Н. Правильна відповідь Б.

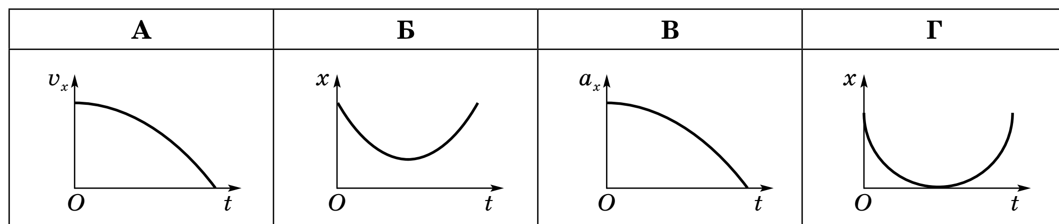
3. Визначте модуль прискорення тіла масою 4 кг, на яке діють зазначені на рисунку сили. Модулі цих сил: $F_1 = 2{,}8$ Н; $F_2 = F_3 = 4{,}8$ Н.



А	Б	В	Г
1,3 м/с^2	1,7 м/с^2	2,5 м/с^2	3,1 м/с^2

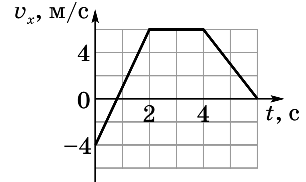
Розв'язання. За другим законом Ньютона прискорення тіла $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m}$, де $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ — рівнодійна прикладених сил. Модуль прискорення тіла подамо через модуль рівнодійної: $a = \dfrac{F}{m}$. Найкраще спочатку знайти рівнодійну двох паралельних сил (її модуль $F_{1-3} = F_3 - F_1 = 2{,}0$ Н, а потім додати дві перпендикулярні сили $\vec{F}_{1-3}$ і $\vec{F}_2$. Отримаємо: $F = \sqrt{F_{1-3}^2 + F_2^2} = 5{,}2$ Н; $a = 1{,}3$ м/с^2. Правильна відповідь А.

4. Тіло рухається вздовж осі Ox. Визначте, на якому рисунку може бути поданий графік руху тіла під дією постійної сили.



Розв'язання. Згідно з другим законом Ньютона постійна сила надає тілу постійного прискорення. Отже, рух має бути прямолінійним рівноприскореним. Для такого руху проекція прискорення a_x не залежить від часу, проекція швидкості $v_x = v_{0x} + a_x t$ лінійно залежить від часу. Отже, відповідні графіки мають бути прямими лініями. Залежність координати від часу $x = x_0 + v_{0x}t + \dfrac{a_x t^2}{2}$ є квадратичною, відповідний графік — парабола. На рисунку Г подано не параболу, а півколо. Правильна відповідь Б.

5. Тіло масою 2 кг рухається вздовж осі Ox під дією сили $\vec{F}$. На рисунку подано графік залежності проекції швидкості руху тіла від часу. Визначте максимальне значення модуля $\vec{F}$ сили.



А	Б	В	Г
4 Н	6 Н	10 Н	20 Н

Розв'язання. Оскільки $F = ma$, треба знайти максимальне значення модуля прискорення руху. Графік залежності $v_x(t)$ утворює найбільший кут з віссю абсцис на першій ділянці (від 0 до 2 с). Отже, саме на цьому інтервалі модулі прискорення та сили були найбільшими. За 2 с проекція швидкості збільшилася на 10 м/с (від −4 до 6 м/с). Отже, щосекунди швидкість збільшувалася на 5 м/с, тобто $a_x = 5$ м/с^2. Звідси отримуємо $F = 10$ Н. Правильна відповідь В.

6. Після удару м'яч влучив у штангу футбольних воріт. Порівняйте за модулем і напрямком сили, які діють на штангу та м'яч під час удару.

А	Б	В	Г
Сили однакові за модулем і однакові за напрямком	Сили однакові за модулем, протилежні за напрямком	На штангу діє більша сила, напрямки сил протилежні	На м'яч діє більша сила, напрямки сил протилежні

Розв'язання. За третім законом Ньютона сили, що виникають під час взаємодії, завжди однакові за модулем і протилежні за напрямком. Правильна відповідь Б.

7. Визначте, у скільки разів зменшиться сила тяжіння між астероїдом і Сонцем, якщо відстань між ними збільшиться в 6 разів.

А	Б	В	Г
Зменшиться у 2,45 разу	Зменшиться у 6 разів	Зменшиться у 12 разів	Зменшиться у 36 разів

Розв'язання. Очевидно, що в даному випадку обидва тіла, які взаємодіють, можна вважати матеріальними точками. Відповідно до закону всесвітнього тяжіння сила тяжіння обернено пропорційна квадрату відстані між цими точками. Отже, при збільшенні відстані в 6 разів сила тяжіння зменшиться в $6^2 = 36$ разів. Правильна відповідь Г.

8. Визначте, між якими тілами силу тяжіння *не можна* обчислити за формулою закону всесвітнього тяжіння.

А	Б	В	Г
Земля, Сонце	Штанги футбольних воріт	Бетонна плита, Земля	Сонце, Місяць

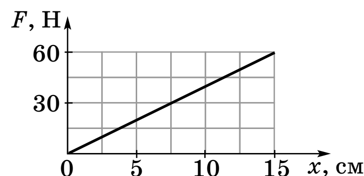
Розв'язання. Формулу закону всесвітнього тяжіння можна застосовувати до матеріальних точок (тіл, розміри яких набагато менші, ніж відстані між ними). Крім того, цю формулу можна застосовувати до сферично симетричних тіл (наприклад, однорідних куль) незалежно від відстані. Ці умови не виконуються для штанг футбольних воріт: їх розміри (висота) порівнювані з відстанню між ними, а форма аж ніяк не сферична. Отже, правильна відповідь Б.

9. Коли до пружини підвісили тягарець масою 300 г, довжина пружини збільшилася від 10 до 15 см. Визначте жорсткість пружини, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
12 Н/м	20 Н/м	30 Н/м	60 Н/м

Розв'язання. Видовження пружини під дією тягарця становить $x = 0{,}05$ м. Сила пружності $F_{\text{пруж}} = kx$ зрівноважує силу тяжіння $F_{\text{тяж}} = mg$, що діє на тягарець. Таким чином, $kx = mg$, звідки $k = \frac{mg}{x} = 60$ Н/м. Правильна відповідь Г.

10. За графіком залежності модуля F сили пружності від видовження x (див. рисунок) визначте жорсткість пружини.



А	Б	В	Г
4 Н/м	9 Н/м	400 Н/м	900 Н/м

Розв'язання. Візьмемо точку графіка зі «зручними» координатами (наприклад, $x = 15$ см $= 0{,}15$ м і $F = 60$ Н) і скористаємося законом Гука $F = kx$, звідки $k = \frac{F}{x} = 400$ Н/м. Правильна відповідь В.

11. Установіть відповідність «початок фрази — закінчення фрази».

1 Вага книжки на столі — ...
2 Вага будь-якого тіла — ...
3 Вага зарядженої кульки, яка «висить» в електричному полі, — ...
4 Вага вертикально розташованого олівця, який тримають двома пальцями, — ...

А ...це сила тертя
Б ...це гравітаційна сила
В ...це сила пружності
Г ...це електромагнітна сила
Д ...це кулонівська сила



Що таке вага? Це сила, яка діє з боку тіла на опору... Це в жодному разі не може бути сила гравітаційної природи. Коли книжка лежить на столі, обидва тіла деформовані. Отже, сила взаємодії між ними — це сила пружності. Коли ми тримаємо двома пальцями вертикально розташований олівець, сили пружності напрямлені горизонтально, а у вертикальному напрямку діють сили тертя (утримати так змащений олівець порівняно важко). У цьому випадку вага — це сила тертя. Заряджена кулька не торкається якоїсь опори, але все ж таки опора є й тут — це заряджене тіло, яке створює електричне поле. Вага в цьому випадку — це кулонівська сила. Отже, в усіх випадках вага має електромагнітну природу. Правильна відповідь: 1–В; 2–Г; 3–Д; 4–А.

12. Визначте, за якої умови вага зазначеного тіла вдвічі менша від ваги такого самого нерухомого тіла.

А	Б	В	Г
Прискорення $\vec{a}$ тіла напрямлене вгору, $a = 2g$	Прискорення $\vec{a}$ тіла напрямлене вгору, $a = \frac{g}{2}$	Прискорення $\vec{a}$ тіла напрямлене вниз, $a = \frac{g}{2}$	Прискорення $\vec{a}$ тіла напрямлене вниз, $a = 2g$

Розв'язання. Розглянемо, наприклад, тіло в ліфті. На нього діють напрямлена вниз сила тяжіння $\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}$ і сила $\vec{N}$ реакції опори, напрямлена вгору. Сила $\vec{N}$ за модулем дорівнює вазі $\vec{P}$ тіла (це випливає з третього закону Ньютона). За умовою в даному випадку $N = \frac{mg}{2} < mg$, тому прискорення тіла напрямлене вниз і $ma = mg - N$. Отже, $a = \frac{g}{2}$. Правильна відповідь В.

13. Визначте вагу тіла масою $m=6$ кг, яке рухається з прискоренням $a=2$ м/с^2, напрямленим вгору. Вважайте, що $g=10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
12 Н	48 Н	60 Н	72 Н

Розв'язання. Розглянемо тіло, на яке діють сила $\vec{N}$ реакції опори, напрямлена вгору, та сила тяжіння $m\vec{g}$, напрямлена вниз. Записавши рівняння другого закону Ньютона в проекції на вертикальну вісь координат, отримаємо $ma=-mg+N$, звідки $N=m(a+g)$. Із третього закону Ньютона випливає, що вага $\vec{P}$ тіла (сила, з якою тіло діє на опору) за модулем дорівнює силі реакції опори. Отже, $P=m(a+g)=72$ Н. Правильна відповідь Г.

14. Автомобіль масою $m=4$ т, проходячи верхню точку опуклого моста, радіус кривизни якого $r=80$ м, тисне на міст із силою $F=35$ кН. Визначте швидкість руху автомобіля, вважаючи, що $g=10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
18 км/год	36 км/год	54 км/год	72 км/год

Розв'язання. Якби автомобіль рухався без прискорення, сила його тиску на опору дорівнювала би mg, тобто 40 кН. У даному випадку можна вважати, що відбувається рівномірний рух по колу, тоді доцентрове прискорення (його модуль $a=\frac{v^2}{r}$) у верхній точці моста напрямлене вниз (до центра кола). Вага автомобіля (тобто сила його тиску на опору) $F=P=m(g-a)=m\left(g-\frac{v^2}{r}\right)$. Звідси отримуємо $v=\sqrt{r\left(g-\frac{F}{m}\right)}=10$ м/с. Правильна відповідь Б.

15. На рис. 1 показано шкалу динамометра, до якого підвішений дерев'яний брусок, а на рис. 2 — шкалу динамометра, за допомогою якого цей брусок рівномірно тягнуть по столу, прикладаючи горизонтальну силу. Визначте коефіцієнт тертя між бруском і поверхнею стола.

А	Б	В	Г
0,25	0,35	0,40	0,49

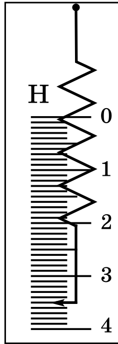


Рис. 1



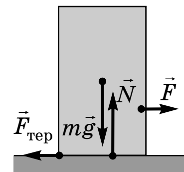
Рис. 2

Розв'язання. Із рисунків бачимо, що вага підвішеного бруска $P = 3{,}5$ Н, а при рівномірному русі по столу брусок тягнуть із силою, модуль якої $F = 1{,}4$ Н. Оскільки ця сила зрівноважує силу тертя $\vec{F}_{\text{тер}}$, модулі обох сил однакові. Сила $\vec{N}$ реакції опори в даному випадку зрівноважує силу тяжіння бруска, тому $N = mg = P$. Подамо коефіцієнт тертя через силу тертя ковзання: $\mu = \frac{F_{\text{тер}}}{N} = \frac{F}{P} = 0{,}4$. Правильна відповідь В.

16. Шафу масою 60 кг тягнуть по підлозі, прикладаючи до шафи горизонтальну силу $\vec{F}$. Визначте модуль F цієї сили, якщо шафа рухається рівномірно. Коефіцієнт тертя $\mu = 0{,}3$; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
18 Н	20 Н	180 Н	200 Н

Розв'язання. На шафу діють чотири сили (див. рисунок). Шафа рухається рівномірно прямолінійно (тобто без прискорення), тільки якщо всі ці сили врівноважують одна одну: $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{\text{тер}} = 0$. Інакше кажучи, сила реакції опори зрівноважує силу тяжіння $(N = mg)$, а сила тертя — прикладену горизонтальну силу $(F_{\text{тер}} = F)$. Скориставшись формулою для сили тертя ковзання $F_{\text{тер}} = \mu N$, отримаємо $F = \mu mg = 180$ Н. Правильна відповідь В.



17. До шафи масою 60 кг прикладено горизонтальну силу, модуль якої $F = 120$ Н. Визначте модуль сили тертя, яка діє на шафу, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,3.

А	Б	В	Г
120 Н	180 Н	200 Н	360 Н



Це зовсім легка задача! Я ж знаю формулу для сили тертя: $F_{\text{тер}} = \mu N$, що в даному випадку дає результат $F_{\text{тер}} = \mu N = \mu mg =$ $= 180$ Н. Правильна відповідь Б? Хоча... Щось не те: невже сила тертя більша за прикладену силу F? Тоді шафа мала б рушити в напрямку, протилежному напряму сили $\vec{F}$! Я зрозумів: формула $F_{\text{тер}} = \mu N$ дозволяє визначити *максимальний* модуль сили тертя спокою (або модуль сили тертя ковзання, що практично те саме). Оскільки прикладена сила менша від цього значення, шафа не рушає з місця і на неї діє сила тертя спокою. Ця сила зрівноважує силу $\vec{F}$; отже, модулі цих сил однакові $\left(F_{\text{тер}} = F\right)$. Правильна відповідь А.

18. Велосипедист рухається на повороті горизонтальної дороги дугою кола радіусом 10 м. Визначте максимально можливу швидкість руху велосипедиста, якщо коефіцієнт тертя між шинами та дорогою $\mu = 0{,}49$; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
3,5 м/с	4,9 м/с	7 м/с	14 м/с

Розв'язання. Велосипедист рухається з прискоренням $a = \frac{v^2}{r}$, напрямленим до центра кола. Цього прискорення йому надає сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тер}}$ (сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила $\vec{N}$ реакції опори зрівноважують одна одну). Отже, $F_{\text{тер}} = ma = \frac{mv^2}{r}$. Оскільки максимальне значення сили тертя спокою дорівнює μmg, отримуємо $v_{\max} = \sqrt{\mu g r} = 7$ м/с. Правильна відповідь В.

19. Радіус планети дорівнює R. Космічний корабель, який перебував на висоті R над поверхнею планети, віддалився від цієї поверхні на відстань $2R$. Визначте, у скільки разів зменшилася сила тяжіння, яка діє на космонавта.

А	Б	В	Г
У 1,5 разу	У 2 рази	У 2,25 разу	У 4 рази

Розв'язання. Скористаємося законом всесвітнього тяжіння: сила гравітаційної взаємодії між космонавтом і планетою $F = G\frac{Mm}{r^2}$ (тут m і M — маси відповідно космонавта та планети, r — відстань між космонавтом і *центром* планети). Ця відстань збільшилася від $2R$ до $3R$, тобто в 1,5 разу. Отже, сила тяжіння зменшилася в $1{,}5^2 = 2{,}25$ разу. Правильна відповідь В.

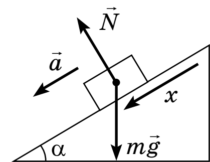
20. Радіуси планет A і $Б$ однакові, а маса планети A втричі більша за масу планети $Б$. Порівняйте перші космічні швидкості v_A і $v_Б$ для цих планет.

А	Б	В	Г
$v_A = 9v_Б$	$v_A = 3\sqrt{3}v_Б$	$v_A = 3v_Б$	$v_A = \sqrt{3}v_Б$

Розв'язання. Перша космічна швидкість відповідає рухові супутника коловою орбітою на малій висоті над поверхнею планети. Під час такого руху сила тяжіння планети $\left(F = G\frac{Mm}{R^2}\right)$ надає супутнику прискорення $a = \frac{v^2}{R}$ (тут M — маса планети, m — маса супутника). За другим законом Ньютона $F = ma$, звідки $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$. Отже, значення першої космічної швидкості прямо пропорційне $\sqrt{M}$; для планети A перша космічна швидкість більша в $\sqrt{3}$ разів. Правильна відповідь Г.

21. Визначте (*у м/с²*) прискорення руху тіла, яке зісковзує з гладенької похилої площини висотою $h = 2$ м і довжиною $L = 8$ м, якщо $g = 10$ м/с^2.

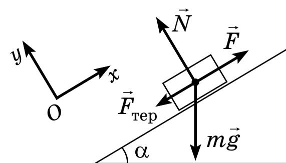
Розв'язання. Тіло рухається по гладенькій похилій площині під дією двох сил: сили тяжіння $m\vec{g}$ і сили $\vec{N}$ реакції опори (див. рисунок). Запишемо другий закон Ньютона у векторній формі: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$ — і в проекції на вісь Ox, напрямлену вздовж похилої площини: $ma = mg_x$, або $ma = mg\sin\alpha$. Оскільки $\sin\alpha = \frac{h}{L}$, отримуємо $a = \frac{gh}{L}$.



Відповідь: 2,5.

22. Вантаж масою $m = 50$ кг тягнуть угору похилою площиною, прикладаючи силу $\vec{F}$ у напрямку руху. Визначте модуль цієї сили, якщо вантаж рухається рівномірно. Висота похилої площини $h = 3$ м, її довжина $L = 5$ м, коефіцієнт тертя $\mu = 0{,}3$. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
300 Н	360 Н	420 Н	450 Н



Розв'язання. Вантаж рухається рівномірно під дією чотирьох сил (див. рисунок). Оскільки прискорення вантажу дорівнює нулю, рівнодійна цих сил дорівнює нулю: $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}+\vec{F}_{тер}=0$. Запишемо дане рівняння в проекціях на осі координат: $-mg\sin\alpha+F-F_{тер}=0$; $-mg\cos\alpha+N=0$. Скориставшись рівнянням для сили тертя ковзання $F_{тер}=\mu N$, отримаємо $F=mg(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)$. Підставивши співвідношення $\sin\alpha=\frac{h}{L}$, $\cos\alpha=\frac{\sqrt{L^2-h^2}}{L}$, дістанемо $F=\frac{mg\left(h+\mu\sqrt{L^2-h^2}\right)}{L}=420$ Н. Правильна відповідь В.

23. Установіть відповідність «рух по колу — сила, яка надає тілу доцентрового прискорення».

1 Поворот мотоцикліста на горизонтальній дорозі
2 Поворот трамвая на міському перехресті
3 Рух Землі навколо Сонця
4 Поворот велосипедиста на віражі велотреку

А Рівнодійна сили тяжіння та сили пружності
Б Гравітаційна сила
В Сила пружності
Г Сила тертя спокою
Д Сила тертя ковзання

Розв'язання. На горизонтальній дорозі єдина горизонтальна сила — це сила тертя. Поворот мотоцикліста зумовлений дією сили тертя *спокою*, яка виникає внаслідок повороту переднього колеса за допомогою руля (якщо виникає проковзування коліс і замість сили тертя *спокою* виникає сила тертя *ковзання*, поворот стає практично неможливим). Доцентрового прискорення трамваю надає сила пружності, яка діє з боку рейок на бокову поверхню коліс (на так звані реборди) і «змушує» трамвай рухатися траєкторією, що повторює форму рейок. Доцентрового прискорення Землі надає, зрозуміло, тяжіння Сонця, тобто гравітаційна сила. Нахил віражу підібрано так, щоб рівнодійна сили тяжіння та сили реакції опори (сили пружності) надавала велосипедисту потрібного доцентрового прискорення навіть за дуже малої сили тертя (на мокрому слизькому треку). Правильна відповідь: 1–Г; 2–В; 3–Б; 4–А.

24. Вантаж масою $m = 24$ кг підвішений до невагомих стержнів (рис. 1). З'єднання в точках A, B, C є шарнірними; кут між стержнями AB і AC $\alpha = 30°$. Визначте силу, що стискає стержень AB. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

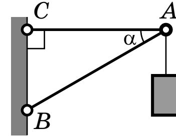


Рис. 1

А	Б	В	Г
120 Н	208 Н	240 Н	480 Н

Розв'язання. На шарнір A діють три сили (рис. 2): вага $m\vec{g}$ вантажу, шукана сила пружності $\vec{F}$ з боку стержня AB і сила пружності $\vec{N}$ з боку стержня AC. Рівнодійна цих сил дорівнює нулю: $m\vec{g} + \vec{F} + \vec{N} = 0$. У проекції на вертикальну вісь Oy маємо $F\sin\alpha - mg = 0$, звідки $F = \frac{mg}{\sin\alpha} = 480$ Н. Правильна відповідь Г.

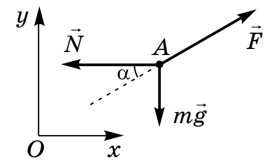
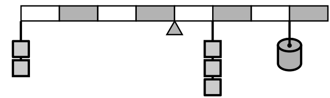


Рис. 2



Насправді підрахунки тут і не потрібні. Якщо уважно подивитися на рис. 2, то помітимо, що модуль F сили пружності похилого стержня має перевищувати модуль сили $m\vec{g}$. Отже, $F > 240$ Н. Тільки одна з наведених відповідей задовольняє цій умові — відповідь Г.

25. Однорідний важіль (див. рисунок) перебуває в рівновазі. Визначте масу m_1 кожного з однакових кубічних тягарців, якщо маса m_2 циліндричного тягарця дорівнює 500 г.



А	Б	В	Г
100 г	200 г	300 г	400 г

Розв'язання. Позначимо b довжину однієї поділки на важелі. У рівновазі алгебраїчна сума моментів трьох сил, які діють на важіль, дорівнює нулю: $M_1 + M_2 + M_3 = 0$ (нагадаємо, що додатними вважають моменти сил, які намагаються повернути важіль проти ходу годинникової стрілки). Підставивши $M_1 = 2m_1 g \cdot 4b$, $M_2 = -3m_1 g \cdot b$, $M_3 = -m_2 g \cdot 3b$, отримаємо $m_1 = \frac{3m_2}{5} = 300$ г. Правильна відповідь В.

26. Однорідний важіль (рис. 1) перебуває в рівновазі. Визначте масу M важеля, якщо маса кожного тягарця $m = 100$ г.

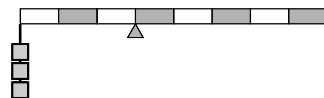


Рис. 1

А	Б	В	Г
100 г	300 г	600 г	900 г

Розв'язання. Позначимо b довжину однієї поділки на важелі. Важіль перебуває в рівновазі під дією двох сил: ваги тягарців $3m\vec{g}$ і сили тяжіння самого важеля, прикладеної до його центра (рис. 2). У рівновазі алгебраїчна сума цих моментів дорівнює нулю: $3mg \cdot 3b - Mg \cdot b = 0$, звідки $M = 9m = 900$ г. Правильна відповідь Г.

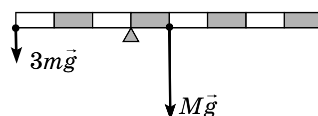


Рис. 2

Другий рівень

1. Розглянемо рух тіла відносно двох різних інерціальних систем відліку. Визначте характеристику руху, яка обов'язково буде однаковою в обох системах відліку.

А	Б	В	Г
Модуль швидкості руху	Напрямок швидкості руху	Прискорення руху	Пройдений шлях



Нехай, наприклад, перша система відліку пов'язана із Землею, а друга — з автомобілем, що рухається *прямолінійно рівномірно* відносно Землі. Якщо я сиджу в цьому автомобілі, то швидкість мого руху та пройдений мною шлях у другій системі відліку дорівнюють нулю, а в першій — відмінні від нуля! Отже, відповіді А, Б, Г невірні. Правильною може бути тільки відповідь В.

Коментар. Із закону додавання швидкостей випливає, що так само можна додавати й прискорення: $\vec{a}_{т-1} = \vec{a}_{т-2} + \vec{a}_{2-1}$ (тут $\vec{a}_{т-1}$ і $\vec{a}_{т-2}$ — прискорення руху тіла відносно систем відліку 1 і 2 відповідно; $\vec{a}_{2-1}$ — прискорення другої системи відліку відносно першої). Оскільки інерціальні системи відліку рухаються одна відносно одної без прискорення, отримуємо $\vec{a}_{2-1} = 0$ і $\vec{a}_{т-1} = \vec{a}_{т-2}$. Правильна відповідь дійсно В.

2. На тіло масою 2 кг діють три сили, модулі яких дорівнюють 10, 5 і 3 Н. Визначте мінімальне та максимальне значення модуля прискорення, яке ці сили можуть надавати тілу.

А	Б	В	Г
0 і 18 м/с^2	2 і 9 м/с^2	1 і 9 м/с^2	4 і 6 м/с^2

Розв'язання. Фактично йдеться про мінімальне та максимальне значення модуля R рівнодійної трьох сил із заданими модулями. Модуль рівнодійної буде максимальним, якщо всі сили напрямлені однаково; у цьому випадку $R = 10 + 5 + 3 = 18$ (Н). Отже, максимальний модуль прискорення дорівнює 9 м/с^2. Що ж до мінімального значення R, то воно досягається, коли найбільша сила напрямлена протилежно двом іншим; у цьому випадку $R = 10 - 5 - 3 = 2$ (Н). Отже, мінімальний модуль прискорення дорівнює 1 м/с^2. Правильна відповідь В.

3. Дві зорі однакової маси M обертаються навколо спільного центра мас. Відстань між центрами зір дорівнює R і залишається незмінною. Визначте період T обертання зір.

А	Б	В	Г
$T = \frac{\pi}{R}\sqrt{\frac{2R}{GM}}$	$T = \pi R\sqrt{\frac{2R}{GM}}$	$T = \pi R\sqrt{\frac{R}{2GM}}$	$T = R\sqrt{\frac{\pi R}{GM}}$

Розв'язання. Кожна зоря рівномірно рухається по колу радіусом $\frac{R}{2}$ під дією сили тяжіння $F = G\frac{M^2}{R^2}$. Прискорення зорі $a = \frac{2v^2}{R}$, де v — швидкість руху зорі. Скористаємося другим законом Ньютона: $F = Ma$, звідки $v = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$. Період обертання $T = \frac{\pi R}{v} = \pi R\sqrt{\frac{2R}{GM}}$. Правильна відповідь Б.

4. Визначте, якого перевантаження зазнає автогонщик (у скільки разів збільшується його вага), коли автомобіль розганяється з прискоренням $a = 10$ м/с^2 на горизонтальній дорозі. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; відповідь округліть до 0,1.

Розв'язання. Позначимо m масу автогонщика. За відсутності прискорення його вага $P_0 = mg$. На рис. 1 схематично показано сили, які діють на автогонщика

під час розгону автомобіля. Записавши другий закон Ньютона: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$, отримаємо силу реакції опори $N = m\sqrt{g^2 + a^2}$ (рис. 2). Оскільки за третім законом Ньютона вага P автогонщика дорівнює за модулем силі реакції опори, дістанемо $\frac{P}{P_0} = \sqrt{1 + \left(\frac{a}{g}\right)^2} = \sqrt{2} \approx 1{,}4$.

Відповідь: 1,4.

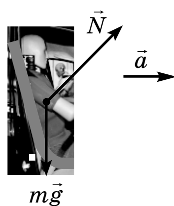
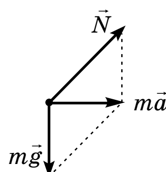


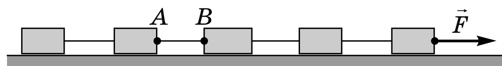
Рис. 1



$\vec{a}$

Рис. 2

5. По столу тягнуть зв'язані між собою легкими нитками однакові бруски (див. рисунок). Визначте силу T натягу нитки AB, якщо модуль прикладеної сили $F = 60$ Н.



А	Б	В	Г
24 Н	36 Н	48 Н	60 Н



Це дуже просто: шукана сила «тягне» два однакові бруски, а сила $\vec{F}$ — п'ять таких самих брусків. Тому виконується співвідношення $\frac{T}{F} = \frac{2}{5}$, звідки $T = 24$ Н. Правильна відповідь А.

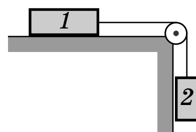
Коментар. Перевіримо ці міркування та подивимося, як слід було би виконувати завдання у випадку, коли бруски *різні*. Якщо маса бруска дорівнює m, коефіцієнт тертя μ, а модуль прискорення системи a, то можна записати другий закон Ньютона в проекції на горизонтальну вісь для всієї системи $(5ma = F - 5\mu mg)$ і для системи з двох останніх брусків $(2ma = T - 2\mu mg)$. Із цих співвідношень дійсно випливає, що $\frac{T}{F} = \frac{2}{5}$, тобто правильна відповідь А.

6. Визначте мінімальну масу m тепловоза, за якої можливий рівномірний горизонтальний рух потяга масою $M = 2400$ т. Коефіцієнт тертя спокою між колесами та рейками $\mu_1 = 0{,}3$; сила опору рухові у 100 разів менша від ваги потяга.

А	Б	В	Г
24 т	72 т	80 т	240 т

Розв'язання. Сила тяги тепловоза має зрівноважувати силу опору $F_{\text{оп}} = \mu_2 Mg$, де $\mu_2 = 0{,}01$. Сила тяги — це сила тертя спокою між колесами тепловоза та рейками. Ця сила не може перевищувати значення $F_{\text{тер}} = \mu_1 mg$. Отже, мінімальне значення маси тепловоза можна визначити зі співвідношення $\mu_1 mg = \mu_2 Mg$, звідки $m = \frac{\mu_2 M}{\mu_1} = 80$ т. Правильна відповідь В. (Як бачимо, маса тепловоза може бути набагато меншою від маси потяга через те, що коефіцієнти μ_1 і μ_2 відрізняються в десятки разів.)

7. У системі, яка подана на рисунку, маси вантажів $m_1 = 600$ г, $m_2 = 200$ г. Визначте силу T натягу нитки, якщо коефіцієнт тертя між вантажем 1 і столом дорівнює: а) 0,2; б) 0,5. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2, нитка та блок невагомі, тертя в осі блока відсутнє.

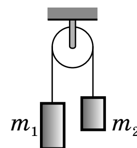


А	Б	В	Г
1,8 і 2 Н	2 і 1,6 Н	1,5 і 2 Н	1,2 і 2 Н

Розв'язання. Це завдання має «приховану» складність: передусім треба визначити, чи рухатиметься подана на рисунку система. Візьмемо спочатку мале значення m_2 і потроху його «збільшуватимемо». Доки вага вантажу 2 (тобто сила натягу нитки) не перевищить максимального значення сили тертя спокою $(\mu m_1 g)$, система лишатиметься нерухомою. Оскільки вага нерухомого вантажу дорівнює $m_2 g$, отримуємо умову рівноваги: $m_2 g \leqslant \mu m_1 g$, або $m_2 \leqslant \mu m_1$. Зазначимо, що ця умова виконується тільки у випадку Б; у цьому випадку сила натягу нитки дорівнює $m_2 g$ (2 Н). У випадку А система рухається з прискоренням, при цьому на вантаж 1 діє сила тертя ковзання (її модуль дорівнює $\mu m_1 g$). Записавши рівняння другого закону Ньютона для кожного з вантажів у проекціях на осі координат, отримаємо систему двох рівнянь: $m_1 a = T - \mu m_1 g$ і $m_2 a = m_2 g - T$.

Із цієї системи отримаємо $a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_2 + m_1} g > 0$ і $T = \frac{m_1 m_2 (1+\mu)}{m_2 + m_1} g = 1{,}8$ Н. Правильна відповідь А.

8. Через нерухомий блок (див. рисунок) перекинуто невагому нерозтяжну нитку, до кінців якої підвішені тягарці масами m_1 і m_2. Визначте силу T натягу нитки, нехтуючи масою блока та силою тертя в його осі.



А	Б	В	Г
$T=\frac{(m_1+m_2)g}{2}$	$T=\frac{m_1m_2g}{m_1+m_2}$	$T=\frac{2m_1m_2g}{m_1-m_2}$	$T=\frac{2m_1m_2g}{m_1+m_2}$



Я можу вибрати правильну відповідь навіть без громіздких розрахунків, «відсіявши» всі неправильні! Відповідь В не може бути правильною: що отримаємо, наприклад, при $m_1=m_2$? Зазначу також, що при $m_1=m_2$ можлива рівновага і $T=m_1g=m_2g$, а якщо $m_1\to 0$ (один тягарець просто відсутній), то другий тягарець вільно падає, перебуваючи в стані невагомості, тобто $T\to 0$. Перша з цих умов дозволяє «відсіяти» відповідь Б, а друга — відповідь А. Отже, правильна відповідь Г.

Коментар. Корисно все ж таки розібратися з повним розв'язанням. Припустимо, що $m_1>m_2$. Тоді прискорення першого тягарця напрямлене вниз, а другого — вгору. Ці прискорення однакові за модулем (оскільки нитка нерозтяжна, переміщення тягарців за будь-який час однакові за модулем). Із відсутності тертя, а також з невагомості нитки та блока випливає: сила натягу нитки в усіх її поперечних перерізах однакова. Запишемо другий закон Ньютона для кожного тягарця в проекції на вісь, напрямлену вертикально вниз: $\begin{cases} m_1a=m_1g-T, \\ -m_2a=m_2g-T. \end{cases}$ Звідси отримуємо $T=\frac{2m_1m_2g}{m_1+m_2}$. Як бачимо, відповідь Г дійсно правильна.

9. Радіус планети *А* вдвічі більший за радіус планети *Б*, а маса планети *А* у 8 разів більша за масу планети *Б*. Порівняйте періоди $T_А$ і $T_Б$ обертання штучних супутників цих планет, якщо ці супутники рухаються по колових орбітах на невеликій висоті.

А	Б	В	Г
$T_А=8T_Б$	$T_А=4T_Б$	$T_А=2T_Б$	$T_А=T_Б$

Розв'язання. Швидкість руху супутника коловою орбітою на невеликій висоті можна визначити з рівняння $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$ (це рівняння випливає з другого

закону Ньютона): $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$. Період обертання супутника $T=\frac{2\pi R}{v}=2\pi\frac{R^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{GM}}$.

Отже, період обертання супутника прямо пропорційний $\frac{R^{\frac{3}{2}}}{M^{\frac{1}{2}}}$; для планет A і $Б$ періоди обертання супутників однакові. Правильна відповідь Г.

Коментар. Цей результат не є випадковим. Можна показати, що розглянутий період обертання залежить тільки від середньої густини планети, а значення цієї величини для обох планет однакове.

10. Невагомі стержні AC і BC закріплені шарнірно (рис. 1). Маса вантажу $m=2{,}4$ кг. Визначте силу пружності в стержні BC, якщо $AB=18$ см, $BC=48$ см. Вважайте, що $g=10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
9 Н	33 Н	64 Н	88 Н

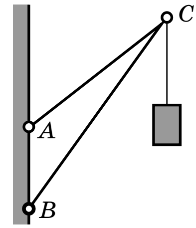


Рис. 1

Розв'язання. На шарнір C діють три сили (рис. 2): вага $m\vec{g}$ вантажу, шукана сила $\vec{F}$ пружності з боку стержня BC і сила $\vec{N}$ пружності з боку стержня AC. Рівнодійна цих сил дорівнює нулю: $m\vec{g}+\vec{F}+\vec{N}=0$. Щоб уникнути громіздкого обчислення проекцій векторів на óсі координат, скористаємося геометричним складанням сил: з умови випливає, що ці сили мають утворювати трикутник (рис. 3). Оскільки сили пружності напрямлені вздовж стержнів, трикутник сил і трикутник ABC подібні один одному. Отже, можна записати пропорцію $\frac{F}{mg}=\frac{BC}{AB}$, звідки $F=mg\frac{BC}{AB}=64$ Н. Правильна відповідь В.

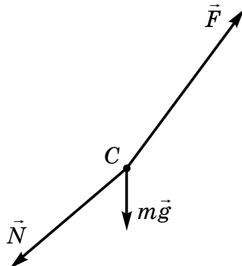


Рис. 2

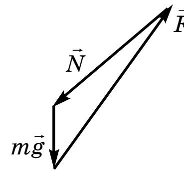


Рис. 3

11. До легкої пружини підвішені два тягарці, зв'язані невагомою ниткою Н (рис. 1). Маси тягарців $m_1 = 400$ г і $m_2 = 800$ г. Нитку перепалюють. Визначте (*у м/с²*) модуль прискорення руху верхнього тягарця відразу після перепалення, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

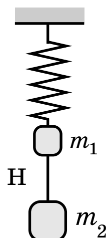


Рис. 1



Очевидно, що пружина «смикне» верхній тягарець, тобто надасть йому напрямленого вгору прискорення. З якою саме силою? До перепалювання нитки сила пружності пружини дорівнювала за модулем загальній вазі двох нерухомих тягарців: $F = m_1 g + m_2 g$. Але ж довжина пружини не могла миттєво змінитися після перепалювання нитки — на це потрібен певний час! Отже, сила пружності залишилася такою самою. Щоб знайти прискорення руху тягарця, слід не забути й про силу тяжіння $m_1\vec{g}$ (рис. 2):

$m_1 a = F - m_1 g = m_2 g$. Звідси $a = \dfrac{m_2 g}{m_1} = 20$ м/с^2.

Відповідь: 20.

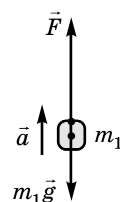


Рис. 2

12. Хлопчик тягне санчата масою m горизонтальною дорогою за допомогою мотузки, яка утворює кут α з горизонтом. Визначте силу T натягу мотузки, якщо санчата рухаються рівномірно, а коефіцієнт тертя між санчатами та дорогою дорівнює μ.

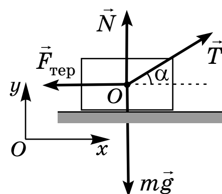
А	Б	В	Г
$T = \dfrac{\mu mg}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}$	$T = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha}$	$T = \dfrac{mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$	$T = \dfrac{\mu mg}{\cos\alpha + \mu\sin\alpha}$



Гадаю, що для *вибору* правильної відповіді досить мати здоровий глузд... Адже очевидно, що сила натягу мотузки, потрібна для рівномірного руху санчат, не може зростати нескінченно. Отже, знаменник дробу не може дорівнювати нулю (або стати від'ємним). Це виключає відповідь Б. Коли ж кут α прямує до нуля (мотузка горизонтальна), має бути $T = \mu mg$. Це виключає відповіді А і В. Отже, правильна відповідь Г.

Коментар. Що ж, це досить логічні міркування. Проте корисно навчитися не тільки *вибирати* відповідь, а й *розв'язувати* такі задачі. На рисунку показано всі сили, які діють на санчата. Оскільки санчата рухаються без прискорення, рів-

нодійна цих сил дорівнює нулю: $m\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_{\text{тер}}+\vec{T}=0$. Запишемо це рівняння в проекціях на óсі координат: $-F_{\text{тер}}+T\cos\alpha=0$, $-mg+N+T\sin\alpha=0$. Врахувавши також співвідношення між силою тертя ковзання та силою реакції опори $F_{\text{тер}}=\mu N$, отримаємо $T=\dfrac{\mu mg}{\cos\alpha+\mu\sin\alpha}$. Правильна відповідь дійсно Г.



13. Однорідна куля підвішена на нитці до вертикальної гладенької стінки. Визначте можливий напрямок (можливі напрямки) нитки (рис. 1).

А	Б	В	Г
Тільки *а*	Тільки *б*	Тільки *в*	*а*, *б*, *в*

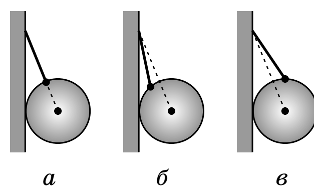


Рис. 1

Розв'язання. Скористаємося однією з умов рівноваги: алгебраїчна сума моментів усіх прикладених до кулі сил має дорівнювати нулю. При цьому вісь *O*, відносно якої обчислюються моменти, ми можемо вибирати найбільш зручним чином. На кулю діють три сили: сила тяжіння $m\vec{g}$ (прикладена в центрі кулі), сила $\vec{N}$ реакції стінки (прикладена в точці дотику) і сила $\vec{T}$ пружності з боку нитки (прикладена в точці кріплення нитки до кулі). Лінії дії сил $m\vec{g}$ і $\vec{N}$ перетинаються в центрі кулі. Отже, якщо провести вісь *O* через центр кулі, моменти цих двох сил дорівнюватимуть нулю. Тому необхідно, щоб і момент сили $\vec{T}$ дорівнював нулю, тобто лінія дії цієї сили має проходити через центр кулі (рис. 2). Отже, можливим напрямком нитки є тільки напрямок, поданий на рис. 1, *а*. Правильна відповідь А.

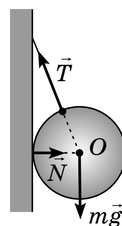
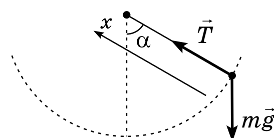


Рис. 2

Отриманий висновок: *якщо тіло перебуває в рівновазі під дією трьох непаралельних сил, то лінії дії цих сил перетинаються в одній точці* — може бути корисним для розв'язання багатьох задач.

14. Маленька кулька масою $m=200$ г розгойдується на нитці завдовжки $l=2$ м. Визначте (*у ньютонах*) силу T натягу нитки в момент, коли вона утворює кут $\alpha=60°$ з вертикаллю, а кулька рухається зі швидкістю $v=3$ м/с. Вважайте, що $g=10$ м/с^2.



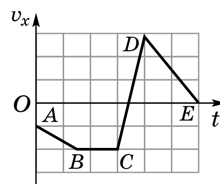
Розв'язання. Кулька рухається під дією двох сил: сили тяжіння $m\vec{g}$ і сили $\vec{T}$ пружності нитки (див. рисунок). Записавши другий закон Ньютона $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{T}$ у проекції на вісь Ox, напрямлену вздовж нитки, отримаємо $m\frac{v^2}{l} = -mg\cos\alpha + T$ (ми врахували, що навіть при нерівномірному русі по колу проекція прискорення на радіус кола дорівнює за модулем доцентровому прискоренню $\frac{v^2}{r}$). Звідси $T = m\left(g\cos\alpha + \frac{v^2}{l}\right) = 1{,}9$ Н.

Відповідь: 1,9.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Матеріальна точка рухається вздовж осі Ox. На рисунку подано графік залежності проекції швидкості руху v_x матеріальної точки від часу t. Визначте ділянку графіка, на якій рівнодійна всіх прикладених до точки сил дорівнює нулю.

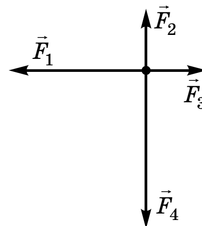


А	Б	В	Г
AB	*BC*	*CD*	*DE*

2. Автомобіль масою 3 т, рухаючись прямолінійно рівноприскорено, за 20 с зменшив швидкість свого руху від 39 до 21 км/год. Визначте модуль рівнодійної сил, які діяли на автомобіль.

А	Б	В	Г
750 Н	1200 Н	3000 Н	5400 Н

3. Визначте модуль прискорення руху тіла масою 2 кг, на яке діють зазначені на рисунку сили. Модулі сил: $F_1 = 10$ Н; $F_2 = F_3 = 4$ Н; $F_4 = 12$ Н.



А	Б	В	Г
$1\ м/с^2$	$5\ м/с^2$	$7\ м/с^2$	$15\ м/с^2$

4. На тіло масою 5 кг діють дві сили, модулі яких дорівнюють 1 і 7 Н. Визначте можливе значення модуля прискорення руху тіла.

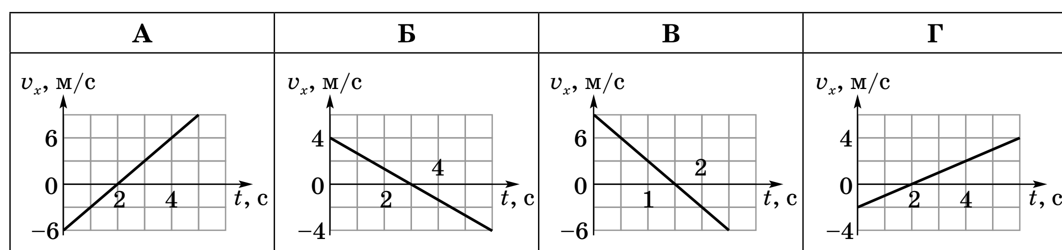
А	Б	В	Г
1 м/с^2	1,5 м/с^2	2 м/с^2	2,5 м/с^2

5. Тіло масою 2 кг рухається вздовж осі Ox під дією постійної сили 6 Н. Визначте формулу, яка може описувати залежність координати x тіла від часу t (значення всіх величин у формулах наведено в СІ).

А	Б	В	Г
$x = 2 + 6t + 3t^2$	$x = -5 + 7t - 1{,}5t^2$	$x = 2 + 1{,}5t - 3t^2$	$x = -6 - 3t + t^2$

6. Тіло масою 5 кг рухається вздовж осі Ox під дією сили, модуль якої становить 30 Н. Визначте, який з наведених графіків відповідає такому рухові.

А	Б	В	Г



7. Коли маса підвішених до пружини тягарців дорівнює 150 г, довжина пружини становить 7 см. Визначте довжину пружини після збільшення загальної маси тягарців до 350 г, якщо жорсткість пружини 50 Н/м. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
9 см	11 см	13 см	15 см

8. Ракета підіймається вертикально вгору, модуль прискорення її руху дорівнює $3g$. Визначте вагу тіла масою m, яке міститься в ракеті.

А	Б	В	Г
mg	$2mg$	$3mg$	$4mg$

9. Визначте вагу тіла масою 5 кг, яке опускається з прискоренням 3 м/с^2, напрямленим униз. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
15 Н	35 Н	50 Н	65 Н

10. У якій ситуації із зазначених людина перебуватиме в стані невагомості?

А	Б	В	Г
Висадка на Місяці	Підводне плавання	Стрибок з вишки у воду	М’яка посадка на Марс

11. Щоб зрушити з місця пустий сундук масою 14 кг, необхідно прикласти до нього горизонтальну силу 24 Н. Визначте, яка горизонтальна сила зрушить з місця цей сундук, коли він містимите речі масою 28 кг.

А	Б	В	Г
36 Н	48 Н	60 Н	72 Н

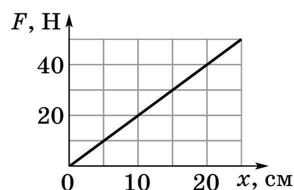
12. Визначте прискорення вільного падіння на поверхні планети масою $1{,}6 \cdot 10^{24}$ кг і радіусом 4000 км. Вважайте, що планета — однорідна куля, а гравітаційна стала дорівнює $6{,}7 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

А	Б	В	Г
$6{,}7\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}67\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

13. Відстань між двома банками з водою масою по 1 кг становить кілька метрів. З однієї банки перелили в іншу 0,5 кг води та поставили банки на ті самі місця. Визначте, у скільки разів змінилася сила гравітаційної взаємодії між банками.

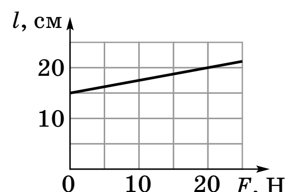
А	Б	В	Г
Збільшилась у 3 рази	Збільшилась у 1,5 разу	Зменшилась у 1,5 разу	Зменшилась у $\frac{4}{3}$ разу

14. Визначте жорсткість пружини за графіком залежності модуля F сили пружності від видовження x пружини (див. рисунок).



А	Б	В	Г
200 Н/м	400 Н/м	500 Н/м	800 Н/м

15. Один кінець пружини закріплено, до іншого кінця прикладають силу, яка розтягує пружину. За графіком залежності довжини l пружини від модуля F прикладеної сили (див. рисунок) визначте жорсткість пружини.



А	Б	В	Г
100 Н/м	175 Н/м	300 Н/м	400 Н/м

16. Визначте прискорення вільного падіння на планеті, радіус якої в 4 рази перевищує радіус Землі, а маса в 32 рази перевищує масу Землі. Вважайте, що на Землі $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
5 м/с^2	20 м/с^2	40 м/с^2	80 м/с^2

17. Маси планет *А* і *Б* однакові, а радіус планети *А* в 4 рази більший за радіус планети *Б*. Порівняйте перші космічні швидкості $v_А$ і $v_Б$ для цих планет.

А	Б	В	Г
$v_А = 4v_Б$	$v_А = 2v_Б$	$v_А = \frac{1}{2}v_Б$	$v_А = \frac{1}{4}v_Б$

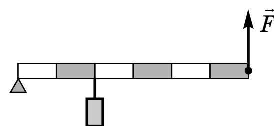
18. Автомобіль рухається зі швидкістю 54 км/год по опуклому мосту з радіусом кривизни 100 м. Визначте силу тиску автомобіля на міст у верхній точці. Маса автомобіля становить 800 кг; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
6,2 кН	6,8 кН	9,2 кН	9,8 кН

19. Вантаж масою 20 кг піднімають по похилій площині з кутом нахилу 30°, прикладаючи силу в напрямку руху. Визначте модуль цієї сили, якщо вантаж рухається рівномірно, а коефіцієнт тертя дорівнює $\frac{1}{\sqrt{3}}$. Скористайтеся значеннями: $g = 10$ м/с^2; $\sin 30° = 0{,}5$; $\cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2}$.

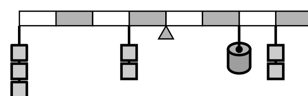
А	Б	В	Г
58 Н	100 Н	170 Н	200 Н

20. Для підіймання вантажу застосовують легкий важіль (див. рисунок). Визначте, який виграш у силі при цьому отримують.



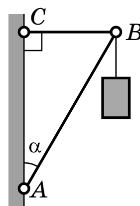
А	Б	В	Г
У 1,5 разу	У 2 рази	У 2,5 разу	У 3 рази

21. Однорідний важіль (див. рисунок) перебуває в рівновазі. Визначте масу кожного з однакових кубічних тягарців, якщо маса циліндричного тягарця становить 400 г.



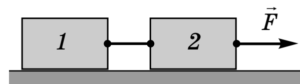
А	Б	В	Г
100 г	200 г	400 г	800 г

22. Вантаж масою 0,85 кг підвішений до невагомих стержнів (див. рисунок). З'єднання в точках *A*, *B*, *C* є шарнірними. Кут між стержнем *AB* і стіною $\alpha = 30°$. Визначте (з точністю до 1 Н) силу, що стискає стержень *AB*. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.



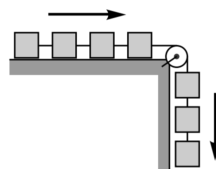
А	Б	В	Г
4 Н	7 Н	10 Н	17 Н

23. Два бруски з масами m_1 і m_2 зв'язані ниткою. Під дією сили $F = 12$ Н бруски ковзають по столу без тертя (див. рисунок). Визначте, за якого співвідношення мас брусків сила натягу нитки дорівнює 3 Н.



А	Б	В	Г
$m_1 = 4m_2$	$m_1 = 3m_2$	$m_2 = 3m_1$	$m_2 = 4m_1$

24. У поданій на рисунку системі всі тягарці однакові, тертя в осі блока відсутнє. Визначте коефіцієнт тертя між тягарцями та столом, якщо рух тягарців рівномірний.



А	Б	В	Г
$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{7}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{4}{3}$

25. Тягарці масами 250 і 750 г закріплені на кінцях нерозтяжної нитки, перекинутої через нерухомий блок. Вважайте, що тертя відсутнє, блок і нитка — невагомі; $g = 10$ м/с^2. Визначте модуль прискорення тягарців.

А	Б	В	Г
2,5 м/с^2	3,3 м/с^2	5 м/с^2	7,5 м/с^2

26. Два тягарці закріплені на кінцях нерозтяжної нитки, перекинутої через нерухомий блок. Тертя відсутнє; блок і нитку вважайте невагомими. Визначте, у скільки разів відрізняються маси тягарців, якщо модуль прискорення руху тягарців дорівнює $0{,}6g$.

А	Б	В	Г
У 3 рази	У 4 рази	У 5 разів	У 6 разів

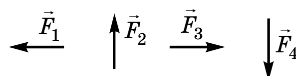
Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

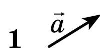
27. Установіть відповідність між рухом тіла та силою, яка надає тілу прискорення.

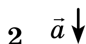
1 Автомобіль рушає з місця
2 Тенісний м'яч відскакує від стінки
3 Шайба ковзає льодовим майданчиком
4 Яблуко падає з дерева

А Сила тертя кочення
Б Гравітаційна сила
В Сила пружності
Г Сила тертя спокою
Д Сила тертя ковзання

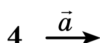
28. На тіло діють чотири сили, напрямки яких зазначені на рисунку. Установіть відповідність між напрямком прискорення тіла та співвідношеннями модулей сил.



1 

2 

3 

4 

А $F_1 > F_3$; $F_2 > F_4$

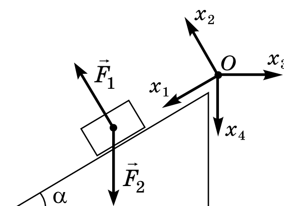
Б $F_1 = F_3$; $F_2 < F_4$

В $F_1 < F_3$; $F_2 > F_4$

Г $F_1 = F_3$; $F_2 > F_4$

Д $F_1 < F_3$; $F_2 = F_4$

29. На рисунку подано на похилій площині тіло, на яке діють дві сили. Установіть відповідність між віссю та проекцією рівнодійної двох сил на вісь.



1 Вісь Ox_1

2 Вісь Ox_2

3 Вісь Ox_3

4 Вісь Ox_4

А $-F_1 \cos\alpha + F_2$

Б $F_1 - F_2 \sin\alpha$

В $-F_1 \sin\alpha$

Г $F_1 - F_2 \cos\alpha$

Д $F_2 \sin\alpha$

30. Установіть відповідність між ім’ям ученого та його науковим доробком.

1 Роберт Гук

2 Галілео Галілей

3 Ісаак Ньютон

4 Генрі Кавендіш

А За відсутності повітря всі тіла падають з однакової висоти на Землю за однаковий час

Б Гравітаційна стала дорівнює приблизно $6{,}7 \cdot 10^{-11}\ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

В Сила пружності прямо пропорційна деформації тіла

Г Сила тертя ковзання прямо пропорційна силі реакції опори

Д Прискорення тіла прямо пропорційне силі, яка діє на тіло

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте (*у метрах*) видовження пружини жорсткістю 60 Н/м, яка надає вантажу масою 1,5 кг прискорення $2\,м/с^2$, напрямленого вертикально вгору. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

32. Брусок масою 2 кг тягнуть по столу, прикладаючи до бруска горизонтальну силу 8 Н. Визначте (*у м/с*^{2}) модуль прискорення руху бруска, якщо коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,3. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

33. Легкий важіль, до кінців якого підвішені вантажі масою 2 і 3 кг, перебуває в рівновазі. Визначте (*у метрах*) довжину важеля, якщо одне його плече на 10 см довше за друге.

34. Вантаж масою 17,4 кг підвішений на двох нитках, кожна з яких утворює кут 30° з вертикаллю. Визначте (*у ньютонах*) силу натягу нитки. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; $\sin 30° = 0{,}5$, $\cos 30° = 0{,}87$.

35. Ящик масою 26 кг розташований на похилій площині довжиною 13 м і висотою 5 м. Коефіцієнт тертя між ящиком і похилою площиною дорівнює 0,5. Визначте (*у ньютонах*) модуль сили, яку необхідно прикласти вздовж похилої площини до ящика, щоб він рівномірно рухався по цій площині вниз. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

36. Санки масою 10 кг тягнуть по горизонтальній дорозі за допомогою мотузки, яка утворює кут 30° з горизонтом. Сила натягу мотузки 60 Н. Визначте (*у м/с*^{2}) прискорення руху санок, якщо коефіцієнт тертя між ними та дорогою дорівнює 0,2. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; $\sin 30° = 0{,}5$, $\cos 30° = 0{,}87$.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | |2|,| | | |

чи такий: | | | |2|,0| | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | |2|,5| | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | |–|2|,0|5| |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: |2| | | |,5| | |

чи такий: | | | |2|,| |5|

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31					,				33					,				35					,
32					,				34					,				36					,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31					,				33					,				35					,
32					,				34					,				36					,

Розділ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

Що треба згадати

- **Імпульс тіла:** $\vec{p} = m\vec{v}$.

- **Імпульс сили:** $\vec{F}t$, де t — час дії сили.

- **Другий закон Ньютона в імпульсній формі:** $\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$.

- **Закон збереження імпульсу:** $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots = \overrightarrow{\text{const}}$ (загальний імпульс замкненої системи тіл залишається незмінним).

- **Механічна робота:** $A = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs\cos\alpha$, де α — кут між напрямком сили $\vec{F}$ і напрямком переміщення $\vec{s}$.

- **Кінетична енергія тіла (енергія тіла, яке рухається зі швидкістю $\vec{v}$):** $W_к = \frac{mv^2}{2}$.

- **Теорема про кінетичну енергію:** $A = \Delta W_к$ (загальна робота сил, які діють на тіло, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла).

- **Потенціальна енергія тіла в полі тяжіння:** $W_п = mgh$, де h — висота тіла над вибраним нульовим рівнем.

- **Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:** $W_п = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість тіла (пружини або стержня); $x = l - l_0$ — деформація тіла (l, l_0 — довжини відповідно деформованого та недеформованого тіла).

- **Робота сили тяжіння або пружності:** $A = -\Delta W_п$.

- **Механічна енергія:** $W = W_к + W_п$.

- **Закон збереження механічної енергії:** $W = W_к + W_п = \text{const}$ (у замкненій системі тіл, що взаємодіють тільки силами тяжіння та пружності, механічна енергія не змінюється).

- **Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізму:** $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$, де $A_{кор}$ і $A_{вик}$ — відповідно корисна та виконана робота.

- **Пружне зіткнення тіл:** $W_{к1} + W_{к2} + \ldots = \text{const}$ (внутрішній стан тіл не змінюється, кінетична енергія не переходить в інші форми).

- **Непружне зіткнення тіл:** $W_{к\ (почат)} = W_{к\ (кінц)} + Q$, де Q — енергія, яка перейшла в інші форми (зазвичай це кількість теплоти, що виділяється внаслідок зіткнення тіл).

- **Абсолютно непружне зіткнення тіл:** кінцеві швидкості руху тіл однакові.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Швидкість руху тіла масою $m = 600$ г, яке рухається вздовж осі Ox, залежить від часу t за законом $v_x = 0{,}2\sin 5\pi t$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте модуль імпульсу через $t = 2{,}3$ с після початку відліку часу.

А	Б	В	Г
$0{,}06\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$0{,}08\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$0{,}10\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$0{,}12\ \frac{кг \cdot м}{с}$

Розв'язання. Імпульс тіла $\vec{p} = m\vec{v}$, модуль імпульсу $p = mv = m|v_x|$. Оскільки $\sin 11{,}5\pi = \sin\frac{3\pi}{2} = -1$, отримуємо $|v_x| = 0{,}2$ м/с і $p = 0{,}12\ \frac{кг \cdot м}{с}$. Правильна відповідь Г.

2. Рух тіла масою 4 кг уздовж осі Ox описується рівнянням $x = -8 + 6t - t^2$. Визначте модуль імпульсу тіла через $t = 2$ с після початку відліку часу. Значення всіх величин у рівнянні наведено в СІ.

А	Б	В	Г
$8\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$6\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$4\ \frac{кг \cdot м}{с}$	$2\ \frac{кг \cdot м}{с}$

Розв'язання. Наведене рівняння є окремим випадком формули $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, тобто рух тіла є прямолінійним рівноприскореним із проекцією початкової швидкості руху $v_{0x} = 6$ м/с і проекцією прискорення руху $a_x = -2$ м/с^2. Проекція швидкості руху $v_x = v_{0x} + a_x t$, проекція імпульсу тіла $p_x = mv_x$. У момент $t = 2$ с отримуємо $p_x = 8\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. Правильна відповідь А.

3. Вагон масою $m_1 = 80$ т, що рухався зі швидкістю $v_1 = 0{,}7$ м/с, зчепився з нерухомим вагоном масою $m_2 = 60$ т. Визначте швидкість v руху вагонів після зчеплення.

А	Б	В	Г
0,2 м/с	0,3 м/с	0,4 м/с	0,6 м/с

Розв'язання. Оскільки під час зчеплення вагонів зовнішніми горизонтальними силами можна знехтувати, імпульс системи тіл (двох вагонів) зберігається: $m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v$. Звідси $v = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} = 0{,}4$ м/с. Правильна відповідь В.

4. М'яч масою $m = 260$ г, який рухався вертикально вгору зі швидкістю $v_0 = 15$ м/с, зазнав пружного удару об масивну горизонтальну дошку, підвішену до стелі спортивного залу. Визначте модуль переданого дошці імпульсу, якщо часом удару можна знехтувати.

А	Б	В	Г
0	$1{,}9\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$	$3{,}9\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$	$7{,}8\ \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$

Розв'язання. З умови випливає, що після удару напрямок швидкості руху м'яча змінився на протилежний, а модуль швидкості руху не змінився: $\vec{v} = -\vec{v}_0$. Оскільки імпульс м'яча $\vec{p} = m\vec{v}$, то модуль цього імпульсу теж не змінився: $\vec{p} = -\vec{p}_0$. За короткий час удару зміною імпульсу внаслідок дії сили тяжіння можна знехтувати, тобто можна розглядати систему «м'яч + дошка» як замкнену. Тоді можемо застосувати закон збереження імпульсу: $\vec{p}_0 = \vec{p} + \vec{p}_д$, звідки переданий дошці імпульс $\vec{p}_д = \vec{p}_0 - \vec{p} = 2\vec{p}_0 = 2m\vec{v}_0$ (зрозуміло, він дорівнює за модулем зміні імпульсу м'яча та протилежний цій зміні за напрямком). Правильна відповідь Г.

5. Мисливець зробив з корми нерухомого човна кілька пострілів у горизонтальному напрямку, внаслідок чого човен набув швидкості $v = 0{,}2$ м/с. Визначте кількість N зроблених пострілів, якщо маса човна з мисливцем $M = 100$ кг; маса кулі $m = 5$ г; швидкість вильоту кулі $v_0 = 800$ м/с. Опір води рухові човна не враховуйте.

А	Б	В	Г
4	5	6	8

Розв'язання. Фактично наведено приклад реактивного руху: тіло (човен) набуває швидкості руху, «відкидаючи» певну свою частину (кулі). Повний імпульс системи залишається рівним нулю (кулі та човен рухаються в протилежних напрямках): $Mv = Nmv_0$, звідки $N = \frac{Mv}{mv_0} = 5$. Правильна відповідь Б.

6. Визначте, у якому випадку з показаних на рисунках робота сили $\vec{F}$ є додатною ($\vec{s}$ — переміщення тіла).

А	Б	В	Г
$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$

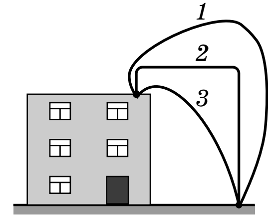
Розв'язання. За означенням механічна робота $A = Fs\cos\alpha$ (α — кут між напрямками $\vec{F}$ і $\vec{s}$). Отже, робота є додатною, коли $\cos\alpha > 0$ (тобто коли кут α гострий або дорівнює нулю). Якщо $\vec{F} \perp \vec{s}$, робота дорівнює нулю, а якщо кут α тупий, то робота є від'ємною. Правильна відповідь Б.

7. М'яч масою $m = 450$ г після удару футболіста піднявся на висоту $h = 8$ м, а потім упав на землю. Визначте роботу сили тяжіння, яка діє на м'яч. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0	18 Дж	36 Дж	72 Дж

Розв'язання. Під час руху м'яча вгору сила тяжіння виконує від'ємну роботу $-mgh$, а під час руху вниз — додатну роботу mgh. Отже, повна робота дорівнює нулю (цього висновку можна дійти інакше: робота A сили тяжіння пов'язана зі зміною потенціальної енергії $\Delta W_п$ співвідношенням $A = -\Delta W_п$, а в даному випадку початкове та кінцеве значення $W_п$ однакові). Правильна відповідь А.

8. Підіймальний кран перемістив три однакові плити на дах будинку трьома різними траєкторіями (див. рисунок). Порівняйте роботи A_1, A_2, A_3 сили тяжіння на цих траєкторіях.



А	Б	В	Г
$A_1 = A_2 = A_3$	$A_1 > A_2 > A_3$	$A_1 = A_2 > A_3$	$A_1 > A_2 = A_3$

Розв'язання. Сила тяжіння, як і сила пружності, є прикладом потенціальної (консервативної) сили. Робота таких сил не залежить від форми траєкторії, а залежить тільки від положення початкової та кінцевої точок (на будь-якій замкненій траєкторії робота потенціальної сили дорівнює нулю). Отже, робота сили тяжіння на всіх трьох траєкторіях є однаковою. Правильна відповідь А.

9. Хлопець підіймає на мотузці з колодязя повне відро масою $m = 12$ кг з постійною швидкістю руху $v = 0{,}6$ м/с. Визначте потужність P, яку розвиває хлопець. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
7,2 Вт	20 Вт	72 Вт	200 Вт

Розв'язання. Відро рухається прямолінійно рівномірно (без прискорення). Отже, з боку мотузки на нього діє сила $\vec{F}$, яка зрівноважує силу тяжіння $m\vec{g}$. За модулем ці сили однакові: $F = mg$. Робота сили $\vec{F}$ за час t становить $A = Fs = Fvt$. З означення потужності випливає, що $P = \frac{A}{t} = Fv$; у даному випадку $P = mgv = 72$ Вт. Правильна відповідь В.

10. Коли до пружини підвісили вантаж вагою $P = 120$ Н, пружина видовжилась на $x = 0{,}2$ м. Визначте потенціальну енергію деформованої пружини.

А	Б	В	Г
12 Дж	24 Дж	30 Дж	60 Дж

Розв'язання. Потенціальна енергія деформованої пружини $W_п = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість пружини. Скориставшись формулою закону Гука $F = kx$, можна записати формулу для потенціальної енергії у вигляді $W_п = \frac{Fx}{2}$. У даному випадку $F = P$, тому $W_п = \frac{Px}{2} = 12$ Дж. Правильна відповідь А.

11. Під час вільного падіння тіла сила тяжіння виконала роботу $A = 600$ Дж. Визначте, які відбулися зміни енергії.

А	Б	В	Г
Потенціальна енергія збільшилася на 600 Дж; кінетична енергія зменшилася на 600 Дж; механічна енергія не змінилася	Потенціальна енергія не змінилася; кінетична енергія збільшилася на 600 Дж; механічна енергія збільшилася на 600 Дж	Потенціальна енергія зменшилася на 600 Дж; кінетична енергія збільшилася на 600 Дж; механічна енергія не змінилася	Потенціальна енергія зменшилася на 600 Дж; кінетична та механічна енергії не змінилися

Розв'язання. Очевидно, що висота, на якій перебуває тіло, зменшилася, а швидкість руху тіла збільшилася, тобто потенціальна енергія $W_п$ тіла зменшилася, а кінетична енергія $W_к$ збільшилася. Це вже дозволяє вибрати правильну відповідь. Утім нагадаємо, що $A = \Delta W_к = -\Delta W_п$. Звідси ж випливає, що механічна енергія $W = W_к + W_п$ не змінилася. Правильна відповідь В.

12. Тіло підкинули вертикально вгору. Визначте початкову швидкість v_0 його руху, якщо на висоті $h = 4$ м кінетична енергія тіла в 5 разів менша від його початкової кінетичної енергії. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
5 м/с	10 м/с	15 м/с	20 м/с

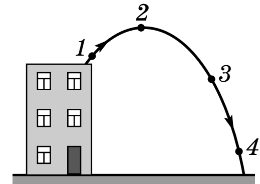
Розв'язання. Позначимо $W_{0к}$ початкове значення кінетичної енергії тіла, тоді на висоті h його кінетична енергія $W_к = \frac{1}{5} W_{0к}$. За відсутності опору повітря механічна енергія зберігається: $W_{0к} = W_к + W_п$. Звідси $W_{0к} = \frac{5}{4} W_п = \frac{5}{4} mgh$. Оскільки $W_{0к} = \frac{mv_0^2}{2}$, отримуємо $v_0 = \sqrt{\frac{5gh}{2}} = 10$ м/с. Правильна відповідь Б.

13. Стиснена пружина жорсткістю $k = 120$ Н/м після вивільнення надає кульці масою $m = 3$ г швидкості руху $v = 6$ м/с. Визначте модуль x початкової деформації пружини.

А	Б	В	Г
3 см	4 см	6 см	9 см

Розв'язання. Потенціальна енергія деформованої пружини $W_п = \frac{kx^2}{2}$ переходить у кінетичну енергію кульки $W_к = \frac{mv^2}{2}$. Отже, за законом збереження енергії $\frac{kx^2}{2} = \frac{mv^2}{2}$, звідки $x = v\sqrt{\frac{m}{k}} = 0{,}03$ м. Правильна відповідь А.

14. Камінець кинули з даху будівлі під кутом до горизонту. Визначте, в якій точці траєкторії камінця (див. рисунок) його кінетична енергія має найбільше значення. Опір повітря не враховуйте.



А	Б	В	Г
Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4

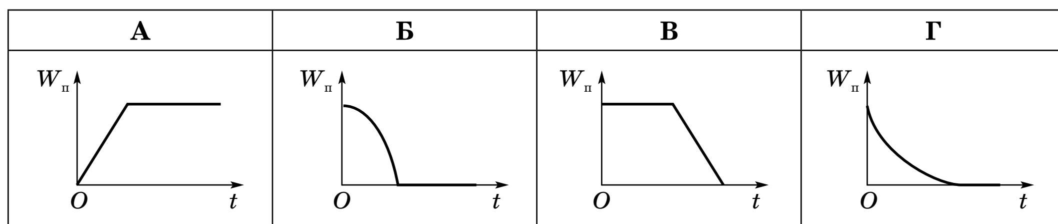
Розв'язання. За відсутності опору повітря механічна енергія камінця, тобто сума його кінетичної та потенціальної енергій, зберігається. Отже, значення кінетичної енергії є *найбільшим* у точці, де значення потенціальної енергії є *найменшим*. З формули потенціальної енергії $W_п = mgh$ випливає, що це точка, яка розташована на найменшій висоті (точка 4). Правильна відповідь Г.

15. Футбольний м'яч масою $m = 400$ г при ударі отримав швидкість руху $v_0 = 30$ м/с. На висоті $h = 10$ м швидкість руху м'яча зменшилася до $v = 20$ м/с. Визначте, на скільки збільшилася внутрішня енергія м'яча та навколишнього середовища.

А	Б	В	Г
На 20 Дж	На 40 Дж	На 60 Дж	На 80 Дж

Розв'язання. Унаслідок дії сили опору повітря механічна енергія м'яча переходить у внутрішню. Щоб знайти втрату Q механічної енергії, скористаємося законом збереження енергії: $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh + Q$. Звідси $Q = 60$ Дж. Саме на стільки збільшилася внутрішня енергія м'яча та навколишнього середовища. Правильна відповідь В.

16. Яблуко відривається від гілки та падає на землю. Виберіть графік, який відображає залежність потенціальної енергії $W_п$ яблука від часу t.





Потенціальна енергія $W_п = mgh$ тіла під час падіння зменшується, і з часом усе швидше (бо збільшується швидкість падіння). Це виключає з розгляду всі відповіді, крім відповіді Б, адже графік А відповідає збільшенню енергії, графік В — рівномірному зменшенню енергії (яке починається чомусь при $t > 0$), графік Г — зменшенню енергії, яке відбувається все повільніше. Правильна відповідь Б.

17. Яблуко падає з гілки на висоті $h = 4$ м. Перед торканням землі яблуко має кінетичну енергію $W_к = 6$ Дж. Визначте масу m яблука. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,15 кг	0,24 кг	0,30 кг	0,36 кг

Розв'язання. За відсутності опору повітря потенціальна енергія $W_п = mgh$ під час падіння переходить тільки в кінетичну енергію. Отже, $W_п = W_к$, звідки $m = \frac{W_к}{gh} = 0{,}15$ кг. Правильна відповідь А.

18. Автомобіль масою $m = 2$ т, що рухався зі швидкістю $v = 20$ м/с, почав гальмувати. Визначте гальмівний шлях l автомобіля, якщо сила опору рухові $F = 8$ кН.

А	Б	В	Г
25 м	40 м	50 м	80 м

Розв'язання. Кінетична енергія автомобіля $W_к = \frac{mv^2}{2}$ при гальмуванні переходить у внутрішню енергію внаслідок роботи сили опору: $\frac{mv^2}{2} - Fl = 0$, звідки $l = \frac{mv^2}{2F} = 50$ м. Правильна відповідь В.

19. Юні умільці сконструювали для зоопарку ліфт, за допомогою якого можна підняти слона масою $m = 3{,}6$ т на майданчик для прогулок, розташований на $h = 5$ м вище за вольєр. За проектом, ліфт має працювати від моторчика кавоварки потужністю $P = 100$ Вт. Визначте час t кожного підйому. Вважайте, що втрати енергії відсутні; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
5 хв	10 хв	20 хв	30 хв

Розв'язання. Щоб підняти слона, необхідно виконати роботу $A = mgh$. З означення потужності $P = \frac{A}{t}$ випливає, що $t = \frac{mgh}{P} = 1800$ с. Правильна відповідь Г.

20. Вантаж масою $m = 6$ кг, підвішений до плеча 1 невагомого важеля, рівномірно піднімають, прикладаючи до плеча 2 важеля силу $F = 30$ Н. Визначте відношення довжин плечей важеля $\frac{l_2}{l_1}$, відношення модулів переміщень кінців важеля $\frac{h_2}{h_1}$, відношення модуля роботи A_1 сили тяжіння та модуля роботи A_2 сили $\vec{F}$. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
$\frac{l_2}{l_1} = 2$; $\frac{h_2}{h_1} = 2$; $\frac{A_1}{A_2} = 1$	$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{2}$; $\frac{h_2}{h_1} = 2$; $\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{2}$	$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{2}$; $\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}$; $\frac{A_1}{A_2} = 1$	$\frac{l_2}{l_1} = 2$; $\frac{h_2}{h_1} = 2$; $\frac{A_1}{A_2} = 2$

Розв'язання. Рівномірне піднімання вантажу відбувається за тієї самої умови, що й рівновага важеля: $\frac{mg}{F} = \frac{l_2}{l_1}$. Звідси $\frac{l_2}{l_1} = 2$. З геометричної подібності випливає, що модулі переміщень кінців важеля прямо пропорційні довжині плечей: $\frac{h_2}{h_1} = \frac{l_2}{l_1}$. Тепер можна порівняти роботи: $\frac{A_1}{A_2} = \frac{mgh_1}{Fh_2} = \frac{mg}{F} \cdot \frac{h_1}{h_2} = \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{l_1}{l_2} = 1$. Останній результат можна отримати із закону збереження енергії: за відсутності тертя та ваги важеля робота сили $\vec{F}$ дорівнює збільшенню потенціальної енергії вантажу. Отже, правильна відповідь А.

21. Який виграш в силі за відсутності тертя дає застосування нерухомого блока? рухомого блока? Масою блоків можна знехтувати.

А	Б	В	Г
Нерухомий блок дає виграш у силі в 2 рази, рухомий блок не дає виграшу в силі	Нерухомий і рухомий блоки дають виграш у силі в 2 рази	Нерухомий блок не дає виграшу в силі, рухомий блок дає виграш у силі в 2 рази	Нерухомий і рухомий блоки не дають виграшу в силі

Розв'язання. Можна виходити з того, що ідеальний механізм (а зазначені блоки є саме такими механізмами) не дає ані виграшу, ані програшу в роботі. Отже, виграш у силі та програш у відстані для такого механізму мають збігатися. Щоб підняти вантаж на 1 м за допомогою нерухомого блока, слід витягти 1 м мотузки, а щоб зробити це за допомогою рухомого блока — 2 м мотузки (довжина мотузки і праворуч, і ліворуч від рухомого блока має скоротитися на 1 м). Отже, нерухомий блок не дає виграшу в силі, а рухомий блок дає виграш у силі в 2 рази. Правильна відповідь В. (Зазначимо: якщо поміняти місцями точки підвісу вантажу та прикладання сили, то рухомий блок даватиме програш у силі, проте даватиме виграш у відстані (і швидкості).)

22. Для підіймання вантажу масою $m = 120$ кг застосували важіль, довжини плечей якого $l_1 = 25$ см і $l_2 = 1{,}5$ м. Визначте ККД важеля, якщо до його довшого плеча довелося прикласти силу $F = 250$ Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
40 %	50 %	60 %	80 %



Якби важіль був ідеальним, він давав би виграш у силі в $\frac{l_2}{l_1}$ разів, тобто в 6 разів. Насправді ж виграш у силі менший: $\frac{mg}{F} = 4{,}8$. Визначимо, яку частку це становить від максимально можливого виграшу в силі: $\frac{4{,}8}{6} = 0{,}8$. Отже, ККД важеля дорівнює 80 %. Правильна відповідь Г.

Коментар. Все ж таки наведемо більш «формальне» розв'язання. За означенням ККД $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$. Корисна робота $A_{кор} = mgh_1$; виконана робота $A_{вик} = Fh_2$

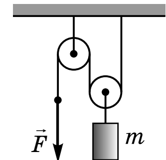
(тут h_1 і h_2 — модулі вертикальних переміщень відповідних кінців важеля). Отже, $\eta = \frac{mgh_1}{Fh_2} \cdot 100\,\%$. Оскільки $\frac{h_1}{h_2} = \frac{l_1}{l_2}$, отримуємо $\eta = \frac{mgl_1}{Fl_2} \cdot 100\,\% = 80\,\%$. Правильна відповідь дійсно Г.

23. Визначте ККД похилої площини довжиною $l = 1$ м і висотою $h = 0{,}4$ м, якщо для рівномірного підіймання по ній бруска масою $m = 400$ г необхідно прикладати в напрямку руху силу $F = 2$ Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
75 %	80 %	85 %	90 %

Розв'язання. За означенням ККД механізму $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$. Корисна робота $A_{кор} = mgh$; виконана робота $A_{вик} = Fl$. Отже, $\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\,\% = 80\,\%$. Правильна відповідь Б.

24. Визначте ККД поданої на рисунку системи блоків, якщо для рівномірного підіймання вантажу масою $m = 60$ кг необхідно прикладати силу $F = 400$ Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.



А	Б	В	Г
70 %	75 %	80 %	90 %

Розв'язання. За означенням ККД механізму $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$. Корисна робота $A_{кор} = mgh$, де h — висота, на яку підняли вантаж. Виконана робота $A_{вик} = Fl$, де l — відстань, на яку перемістилася точка прикладання сили. Унаслідок переміщень ліва вертикальна ділянка нитки видовжилася на l, а дві інші ділянки скоротилися на h. Оскільки нитку зазвичай можна вважати нерозтяжною, її загальна довжина не змінюється, тобто $l - 2h = 0$. Це добре відомий результат: рухомий блок дає програш у відстані в 2 рази. Підставивши $l = 2h$, отримуємо $\eta = \frac{mg}{F} \cdot 50\,\% = 75\,\%$. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Снаряд випустили вертикально вгору з початковою швидкістю руху $v_0 = 60$ м/с. У верхній точці траєкторії снаряд розірвався на два осколки масами $m_1 = 1$ кг і $m_2 = 4$ кг. Перший осколок полетів горизонтально зі швидкістю $v_1 = 100$ м/с. Визначте (*у метрах*) відстань l від точки пострілу до точки падіння другого осколка. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

Розв'язання. Час руху снаряда до верхньої точки траєкторії $t = \frac{v_0}{g}$. Саме таким буде час вільного падіння тіла з цієї точки або час руху тіла, яке кинули горизонтально. Горизонтальна складова швидкості руху осколка під час руху не змінюється, вона дорівнює швидкості v_2 руху другого осколка відразу після розриву; тому $l = v_2 t$. Щоб знайти v_2, скористаємося законом збереження імпульсу. Протягом короткого часу розриву виникають величезні внутрішні сили (сили тиску порохових газів), тому силою тяжіння та силою опору повітря можна знехтувати та розглядати осколки як замкнену систему тіл. Загальний імпульс цих тіл має дорівнювати нулю (швидкість руху снаряда перед розривом дорівнювала нулю), тобто обидва осколки рухаються після розриву горизонтально в протилежних напрямках, причому $m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$. Звідси $l = \frac{m_1 v_1 v_0}{m_2 g} = 150$ м.

Відповідь: 150.

2. Людині масою $M = 69$ кг, яка стоїть на гладенькому льодовому майданчику, кинули кавун масою $m = 6$ кг. Людина зловила кавун, коли він летів зі швидкістю $v = 5$ м/с під кутом $\alpha = 60°$ до горизонту. Визначте, якої швидкості u руху набуває людина, спіймавши кавун.

А	Б	В	Г
0,1 м/с	0,2 м/с	0,3 м/с	0,4 м/с

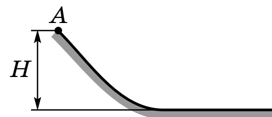
Розв'язання. На систему тіл «людина + кавун» діють тільки вертикальні зовнішні сили. Отже, проекція імпульсу цієї системи на горизонтальну вісь зберігається. До взаємодії тіл горизонтальна проекція імпульсу кавуна дорівнювала $mv\cos\alpha$, а коли людина спіймала кавун, імпульс системи становив $(M+m)u$. Звідси отримуємо $u = \frac{mv\cos\alpha}{M+m} = 0{,}2$ м/с. Правильна відповідь Б.

3. Снаряд, випущений вертикально вгору, розірвався у верхній точці своєї траєкторії на три осколки масами $m_1 = 0{,}5$ кг, $m_2 = 1$ кг, $m_3 = 1{,}5$ кг. Перший осколок полетів у горизонтальному напрямку зі швидкістю $v_1 = 180$ м/с, другий — вертикально зі швидкістю $v_2 = 120$ м/с. Визначте модуль v_3 швидкості руху третього осколка відразу після розриву.

А	Б	В	Г
60 м/с	100 м/с	120 м/с	150 м/с

Розв'язання. Імпульс снаряда перед розривом дорівнював нулю. Під час розриву діяли величезні внутрішні сили (сили тиску порохових газів), тому зовнішні сили (силу тяжіння та силу опору повітря) можна не враховувати. Отже, загальний імпульс $\vec{p}$ усіх осколків має дорівнювати нулю: $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = 0$. Це означає, що вектори $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$, $\vec{p}_3$ утворюють прямокутний трикутник, гіпотенузою якого є $\vec{p}_3$. Тому $p_3 = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$, звідки $v_3 = \frac{\sqrt{(m_1 v_1)^2 + (m_2 v_2)^2}}{m_3} = 100$ м/с. Правильна відповідь Б.

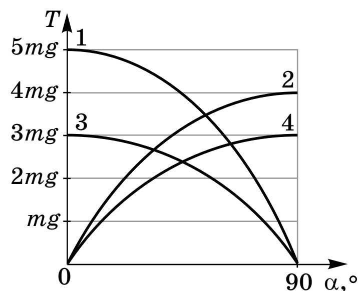
4. Санки масою $m = 20$ кг з'їхали з точки A крижаної гори, після чого проїхали до зупинки ще $l = 25$ м горизонтальною ділянкою (див. рисунок). Визначте силу F опору рухові на горизонтальній ділянці, якщо точка A міститься на висоті $H = 10$ м. Силою опору рухові на крижаній горі можна знехтувати. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.



А	Б	В	Г
50 Н	60 Н	80 Н	125 Н

Розв'язання. Кінетична енергія санок дорівнювала нулю як у початковий момент руху, так і в момент зупинки. Отже, вся початкова потенціальна енергія санок перейшла у внутрішню енергію внаслідок роботи сили опору: $mgH - Fl = 0$, звідки $F = \frac{mgH}{l} = 80$ Н. Правильна відповідь В.

5. Підвішений на нитці тягарець масою m відвели від положення рівноваги так, що натягнута нитка розташувалася горизонтально, і відпустили. Визначте графік залежності сили T натягу нитки від кута α між ниткою та горизонтальною площиною (див. рисунок). Опір повітря не враховуйте.



А	Б	В	Г
Графік 1	Графік 2	Графік 3	Графік 4



Коли кут α збільшується, сила натягу нитки теж збільшується; вона максимальна при $\alpha = 90°$. Отже, графіки 1 і 3 вочевидь не підходять. Тепер треба знайти максимальне значення сили T. Коли нитка розташована вертикально, прискорення руху тягарця напрямлене вгору і дорівнює $\frac{v^2}{l}$, де v — швидкість руху тягарця, l — довжина нитки. Сила натягу нитки (тобто вага тягарця) $T = m\left(g + \frac{v^2}{l}\right)$. Щоб визначити швидкість руху тягарця, слід скористатися законом збереження енергії: $\frac{mv^2}{2} = mgl$. Звідси $T = 3mg$. Правильна відповідь Г.

6. Частинка масою m_1, яка рухалася зі швидкістю $v_0 = 40$ км/с, зазнала лобового пружного зіткнення з нерухомою частинкою масою $m_2 = 4m_1$. Визначте модуль швидкості руху першої (рухомої) частинки після зіткнення.

А	Б	В	Г
0	8 км/с	16 км/с	24 км/с

Розв'язання. При пружному зіткненні зберігаються сумарний імпульс і кінетична енергія частинок. Якщо позначити через v_1 і v_2 *проекції* швидкостей руху частинок після зіткнення на напрямок $\vec{v}_0$, закони збереження можна записати у вигляді: $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, $\frac{m_1 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$. Переписавши ці рівняння у вигляді $m_1(v_0 - v_1) = m_2 v_2$ і $m_1(v_0^2 - v_1^2) = m_2 v_2^2$ та розділивши друге рівняння на перше, отримаємо $v_0 + v_1 = v_2$. Таким чином, маємо систему двох лінійних рівнянь з двома невідомими. Розв'язавши цю систему, визначимо $v_1 = v_0 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$. Звідси

бачимо, що перша (рухома) частинка за умови $m_1 < m_2$ має відскочити назад, а за умови $m_1 = m_2$ — просто зупинитися, повністю передавши свої енергію та імпульс другій (нерухомій) частинці. У нашому випадку $v_1 = -0{,}6v_0 = -24$ км/с. Отже, модуль швидкості руху першої (рухомої) частинки дорівнює 24 км/с. Правильна відповідь Г.

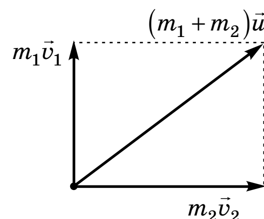
7. Два візки масами $m_1 = 1$ кг і $m_2 = 3$ кг притиснули із силою $F = 60$ Н до кінців легкої пружини жорсткістю $k = 300$ Н/м. Візки одночасно відпустили, і пружина розштовхнула їх. Визначте швидкість v_1 руху більш легкого візка після припинення дії пружини. Тертя не враховуйте.

А	Б	В	Г
3 м/с	4 м/с	6 м/с	8 м/с

Розв'язання. Скориставшись законом Гука $F = kx$, запишемо потенціальну енергію стисненої пружини у вигляді $W_п = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k}$. Після вивільнення візків ця енергія перетворюється на їх кінетичну енергію: $\frac{F^2}{2k} = \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2}$. Щоб визначити розподіл кінетичної енергії між візками, скористаємося законом збереження імпульсу: $m_1v_1 - m_2v_2 = 0$. Виразивши v_2 через v_1 і підставивши цей вираз у попередню формулу, отримаємо $v_1 = F\sqrt{\frac{m_2}{km_1(m_1 + m_2)}} = 3$ м/с. Правильна відповідь А.

8. Два тіла масами $m_1 = 3$ кг і $m_2 = 4$ кг рухались у напрямках, перпендикулярних один до одного. Модулі швидкостей руху тіл були однаковими ($v = 7$ м/с). Відбулося абсолютно непружне зіткнення цих тіл. Визначте (*у джоулях*) кількість енергії Q, яка перейшла у внутрішню енергію.

Розв'язання. Після абсолютно непружного зіткнення тіла́ рухаються з однаковою швидкістю $\vec{u}$, яку можна визначити із закону збереження імпульсу: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{u}$.



Звідси отримуємо (див. рисунок): $u = \frac{\sqrt{(m_1v_1)^2 + (m_2v_2)^2}}{m_1 + m_2} = v\frac{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}{m_1 + m_2}$. Кінетична енергія системи внаслідок

зіткнення зменшилася від $\frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2}$ до $\frac{(m_1 + m_2)u^2}{2}$. Отже, $Q = \frac{m_1 v^2}{2} + \frac{m_2 v^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} = \frac{m_1 m_2 v^2}{m_1 + m_2} = 84$ Дж.

Відповідь: 84.

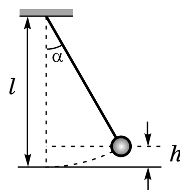
9. Куля масою $m = 10$ г, яка летіла горизонтально зі швидкістю $v = 800$ м/с, застрягла у бруску масою $M = 1{,}99$ кг, підвішеному на легкій нитці завдовжки $l = 1{,}6$ м. Визначте, на який кут α відхилився підвіс від вертикалі. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
30°	45°	60°	75°



Поза сумнівів ця задача — на закон збереження енергії: кінетична енергія кулі $\frac{mv^2}{2}$ перетворюється на потенціальну енергію бруска з кулею $(M + m)gh$. Звідси ми легко визначимо висоту, на яку підійметься брусок через відхилення підвісу: $h = \frac{mv^2}{2g(M + m)}$, а потім... Зачекайте, яке ж тут «потім»? Виходить $h = 160$ м, а цього ж не може бути!

Коментар. Такого дійсно не може бути, хоча наш герой правильно визначив: треба застосувати закони збереження. Проте збереження енергії не завжди означає, що зберігається саме механічна енергія! Даний процес можна розбити на два етапи. Перший етап — зіткнення кулі з бруском. При цьому брусок набуває швидкості u, проте практично не встигає зміститися. Механічна енергія не зберігається (збільшується внутрішня енергія бруска та кулі), але зберігається імпульс системи: $mv = (M + m)u$. На другому етапі процесу брусок із застряглою в ньому кулею відхиляється на кут α, підіймаючись при цьому на висоту $h = l(1 - \cos\alpha)$ (див. рисунок). На цьому етапі механічна енергія зберігається: $\frac{(M + m)u^2}{2} = (M + m)gh$. Отже, $h = \frac{u^2}{2g} = \frac{m^2 v^2}{2g(M + m)^2} = 0{,}8$ м, що абсолютно реально. Звідси $\cos\alpha = 0{,}5$; $\alpha = 60°$. Правильна відповідь В.



10. Візок масою $M=4$ кг рухався прямолінійно рівномірно по столу. З висоти $h=50$ см на нього висипали $m=2$ кг піску, який залишився на візку. Унаслідок цього внутрішня енергія візка та піску збільшилася на $Q=16$ Дж. Визначте (*у м/с*) початкову швидкість v_0 візка. Вважайте, що $g=10$ м/с^2.

Розв'язання. З умови випливає, що опором рухові візка можна знехтувати. При взаємодії піску та візка зберігається горизонтальна проекція імпульсу системи цих тіл: $Mv_0=(M+m)v$, де v — швидкість руху візка з піском. Фактично відбувається непружне зіткнення двох тіл, тому механічна енергія системи цих тіл не зберігається — частина механічної енергії переходить у внутрішню енергію: $\frac{Mv_0^2}{2}+mgh=\frac{(M+m)v^2}{2}+Q$. Виразивши v через v_0, отримаємо $v_0=\sqrt{\frac{2(M+m)(Q-mgh)}{Mm}}=3$ м/с.

Відповідь: 3.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте модуль імпульсу автомобіля масою 4 т під час руху зі швидкістю 90 км/год.

А	Б	В	Г
$100\ \frac{кг\cdot м}{с}$	$360\ \frac{кг\cdot м}{с}$	$100\,000\ \frac{кг\cdot м}{с}$	$360\,000\ \frac{кг\cdot м}{с}$

2. Штучний супутник масою m рухається навколо Землі по коловій орбіті зі швидкістю v. Визначте модуль зміни імпульсу супутника за половину періоду обертання.

А	Б	В	Г
0	mv	$\sqrt{2}mv$	$2mv$

3. Визначте, чому дорівнює зміна імпульсу тіла.

А	Б	В	Г
$\vec{a}t$	$\vec{v}t$	$\vec{F}t$	$\vec{p}t$

4. Куля масою 10 г, яка летіла горизонтально зі швидкістю 180 м/с, влучила в брусок масою 290 г, що висів на нитці. Куля застрягла в бруску. Визначте модуль швидкості руху, якої набув брусок.

А	**Б**	**В**	**Г**
1,8 м/с	6,0 м/с	2,9 м/с	18 м/с

5. Юний ковзаняр масою 20 кг ненавмисно налетів зі швидкістю руху 5,5 м/с на нерухомого дорослого ковзаняра масою 70 кг, відштовхнувся від нього та від'їхав у зворотному напрямку зі швидкістю 1,5 м/с. Визначте, з якою швидкістю рухався після зіткнення дорослий ковзаняр.

А	**Б**	**В**	**Г**
0,5 м/с	1 м/с	1,5 м/с	2 м/с

6. Який вираз відповідає одиниці роботи в СІ?

А	**Б**	**В**	**Г**
$\frac{кг \cdot м}{с^2}$	$\frac{кг \cdot м^2}{с^2}$	$\frac{кг}{м \cdot с^2}$	$\frac{кг \cdot м^2}{с}$

7. Визначте, у якому випадку робота сили $\vec{F}$ дорівнює нулю ($\vec{s}$ — переміщення тіла).

А	**Б**	**В**	**Г**
$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$

8. Визначте, у якому випадку робота сили $\vec{F}$ може дорівнювати −2 Дж, якщо $F = 2$ Н, $s = 2$ м ($\vec{s}$ — переміщення тіла).

А	**Б**	**В**	**Г**
$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$	$\vec{F}$ $\vec{s}$

9. Визначте, у якому випадку сила тяжіння виконує додатну роботу.

А	Б	В	Г
Автомобіль гальмує на горизонтальній дорозі	Скелелаз підіймається стінкою ущелини	М'яч скочується зі схилу гірки	Хокейна шайба ковзає льодовим майданчиком

10. На автомобіль, який рівномірно рухається зі швидкістю 54 км/год, діє сила опору 2 кН. Визначте корисну потужність двигуна автомобіля.

А	Б	В	Г
27 кВт	30 кВт	54 кВт	108 кВт

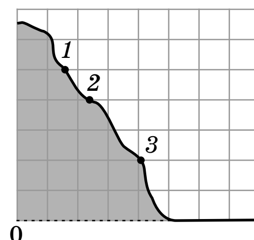
11. Сила опору рухові, яка діє на катер, є прямо пропорційною квадрату швидкості руху катера. Визначте, у скільки разів треба збільшити потужність двигуна, щоб швидкість руху катера збільшилась удвічі.

А	Б	В	Г
У 2 рази	У 4 рази	У 8 разів	У 16 разів

12. Визначте, у якому випадку із зазначених потенціальна енергія взаємодії тіла і Землі не змінюється.

А	Б	В	Г
Турист спускається в підземну печеру	Футбольний м'яч котиться по полю	Спортсмен підстрибує на батуті	Футбольний м'яч перелітає через паркан

13. На схилі гори розташовані три камені (див. рисунок) масами $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 3$ кг і $m_3 = 4$ кг. Порівняйте потенціальні енергії W_1, W_2, W_3 каменів відносно зазначеного на рисунку нульового рівня.



А	Б	В	Г
$W_3 > W_2 > W_1$	$W_1 > W_2 > W_3$	$W_2 > W_3 > W_1$	$W_2 > W_1 > W_3$

14. Швидкість руху підкинутого вгору тіла за певний інтервал часу зменшилася втричі. Визначте, у скільки разів зменшилася кінетична енергія цього тіла.

А	Б	В	Г
У 3 рази	У 6 разів	У 9 разів	У 27 разів

15. Визначте систему тіл, для якої зберігається механічна енергія.

А	Б	В	Г
Будь-яка замкнена система кількох тіл	Замкнена система тіл, які взаємодіють силами тертя та пружності	Замкнена система тіл, які взаємодіють силами тяжіння та тертя	Замкнена система тіл, які взаємодіють силами тяжіння та пружності

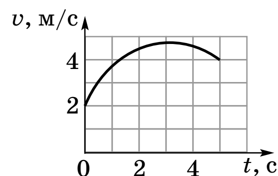
16. При русі підкинутого м'яча сила тяжіння за певний час виконала роботу −30 Дж. Визначте зміни потенціальної енергії $\Delta W_п$, кінетичної енергії $\Delta W_к$ та механічної енергії ΔW протягом цього часу. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
$\Delta W_п = 30$ Дж; $\Delta W_к = -30$ Дж; $\Delta W = 0$	$\Delta W_п = -30$ Дж; $\Delta W_к = 30$ Дж; $\Delta W = 30$ Дж	$\Delta W_п = 30$ Дж; $\Delta W_к = 30$ Дж; $\Delta W = 30$ Дж	$\Delta W_п = -30$ Дж; $\Delta W_к = 30$ Дж; $\Delta W = 0$

17. Тіло вільно падає на землю з висоти 20 м. Визначте, на якій висоті кінетична енергія цього тіла в 4 рази менша від його кінетичної енергії перед падінням на землю. Опір повітря не враховуйте.

А	Б	В	Г
5 м	10 м	15 м	18 м

18. На рисунку подано графік залежності модуля швидкості руху тіла від часу. Визначте за графіком роботу прикладених до тіла сил за перші 5 с руху. Маса тіла становить 6 кг.



А	Б	В	Г
6 Дж	18 Дж	24 Дж	36 Дж

19. Тіло, яке підкинули вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с, піднялося на висоту 14 м. Визначте, скільки відсотків механічної енергії тіла перейшло у внутрішню енергію. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
30 %	35%	40 %	70 %

20. Вантаж масою $m = 78$ кг підвішений до короткого плеча важеля. Для рівномірного підіймання вантажу до довгого плеча важеля, довжина якого в 5 разів більша за довжину короткого плеча, прикладають силу 208 Н. Визначте ККД важеля. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
52 %	75 %	78 %	90 %

21. Визначте ККД похилої площини довжиною 3 м і висотою 90 см, якщо для рівномірного підіймання по ній вантажу масою 80 кг прикладають у напрямку руху силу 480 Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
50 %	60 %	70 %	80 %

22. Визначте ККД нерухомого блока, якщо для рівномірного підіймання вантажу масою 36 кг необхідно прикладати силу 400 Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
36 %	40 %	57 %	90 %

23. Визначте ККД рухомого блока, якщо для рівномірного підіймання вантажу масою 36 кг необхідно прикладати силу 225 Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
75 %	80 %	85 %	90 %

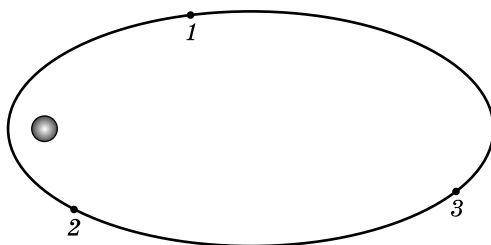
24. Відбулося непружне зіткнення двох підкинутих пластилінових куль. Визначте, як змінилися модуль p імпульсу і сумарна кінетична енергія $W_к$ цієї системи двох тіл.

А	Б	В	Г
p не змінився; $W_к$ зменшилася	p не змінився; $W_к$ не змінилася	p зменшився; $W_к$ не змінилася	p зменшився; $W_к$ зменшилася

25. Космонавт А у відкритому космосі, нерухомий відносно космічної станції, відкинув від себе інструмент Б масою 7 кг. Порівняйте кінетичні енергії обох тіл ($W_А$ і $W_Б$) у системі відліку, пов'язаній із космічною станцією, якщо маса космонавта у скафандрі становить 70 кг.

А	Б	В	Г
$W_А = 0{,}01W_Б$	$W_А = 0{,}1W_Б$	$W_А = 10W_Б$	$W_А = 100W_Б$

26. Штучний супутник Землі рухається еліптичною орбітою (див. рисунок). Порівняйте модулі v_1, v_2, v_3 швидкостей його руху у відповідних точках траєкторії.



А	Б
$v_1 < v_2 < v_3$	$v_2 < v_3 < v_1$
В	**Г**
$v_3 < v_1 < v_2$	$v_3 < v_2 < v_1$

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між процесом і перетворенням енергії.

1 Корок вилітає із пляшки з шампанським

2 Тіло вільно падає

3 М'яч, що котився по майданчику, зупиняється

4 Крапля дощу рівномірно рухається вниз

А Потенціальна енергія переходить у внутрішню

Б Потенціальна енергія переходить у кінетичну

В Кінетична енергія переходить у потенціальну

Г Внутрішня енергія переходить у кінетичну

Д Кінетична енергія переходить у внутрішню

28. Установіть відповідність між процесом і збереженням фізичних величин: імпульсу, кінетичної, потенціальної та механічної енергій.

1 Реактивний рух космічного корабля
2 Пружне зіткнення двох частинок
3 Рух супутника еліптичною орбітою
4 Гальмування автомобіля на горизонтальній дорозі

А Зберігаються імпульс і кінетична енергія
Б Зберігаються кінетична та потенціальна енергії
В Зберігається тільки потенціальна енергія
Г Зберігається тільки імпульс
Д Зберігається тільки механічна енергія

29. Установіть відповідність між процесом та формулою, що його описує.

1 Підіймається ліфт з пасажирами
2 Шайба ковзає льодовим майданчиком
3 Стискається буферна пружина вагона
4 Автомобіль набирає швидкості руху

А $Q = \mu mgs$
Б $W_п = mgh$
В $Q = mgh - \frac{kx^2}{2}$
Г $W_к = \frac{mv^2}{2}$
Д $W_п = \frac{kx^2}{2}$

30. Установіть відповідність між процесом і математичним записом закону збереження. Опір повітря не враховуйте.

1 Рухома більярдна куля влучає в нерухому кулю
2 Цеглина падає з невеличкої висоти
3 Камінець пролетів до верхньої точки параболічної траєкторії
4 Куля з пружинного пістолета долетіла по прямій до верхньої точки своєї траєкторії

А $\frac{kx^2}{2} = \frac{mv^2}{2} - mgh$
Б $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2}$
В $mgh = \frac{mv^2}{2}$
Г $m\vec{v}_0 = m\vec{v}_1 + m\vec{v}_2$
Д $\frac{kx^2}{2} = mgh$

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Космічний корабель масою 20 т вмикає реактивний двигун, який щосекунди викидає 2,5 кг продуктів згоряння пального зі швидкістю 4 км/с. Визначте (*у м/с*^{2}), якого прискорення руху набуває корабель.

32. Коли зовнішні сили виконали роботу 24 Дж, швидкість руху тіла збільшилася від 2 до 4 м/с. Визначте (*у джоулях*), яку роботу треба виконати, щоб швидкість руху тіла збільшилася від 4 до 6 м/с.

33. Вантаж масою 46 кг підіймають за допомогою рухомого блока масою 4 кг. Визначте (*у відсотках*) ККД механізму, якщо тертям можна знехтувати.

34. Маленька кулька масою 200 г висить на нитці завдовжки 2 м. Кульку відводять від положення рівноваги так, що нитка утворює кут 60° з вертикаллю, та відпускають без поштовху. Визначте (*у ньютонах*) силу натягу нитки в момент проходження положення рівноваги. Опір повітря не враховуйте; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

35. Два тіла масами 3 і 5 кг, які рухалися назустріч одне одному зі швидкостями 4 м/с, зазнали абсолютно непружного зіткнення. Визначте (*у джоулях*), скільки механічної енергії перейшло у внутрішню.

36. Кулька, що летіла зі швидкістю 20 м/с, після лобового пружного зіткнення з нерухомим кубом продовжила рухатися в тому самому напрямку зі швидкістю 10 м/с. Визначте, у скільки разів маса кульки більша за масу куба.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: 2,

чи такий: 2,0

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: 2,5

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: –2,05

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 ,5

чи такий: 2, 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31 ____,___ 33 ____,___ 35 ____,___

32 ____,___ 34 ____,___ 36 ____,___

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31 ____,___ 33 ____,___ 35 ____,___

32 ____,___ 34 ____,___ 36 ____,___

Розділ 4. ЕЛЕМЕНТИ МЕХАНІКИ РІДИН І ГАЗІВ

Що треба згадати

- **Тиск на поверхню:** $p = \frac{F}{S}$, де $\vec{F}$ — сила, що діє по нормалі до поверхні; S — площа поверхні.

- **Тиск стовпа рідини:** $p = \rho g h$, де ρ — густина рідини; h — висота стовпа рідини.

- **Для ідеальної гідравлічної машини:** $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$, де F_1, F_2 — модулі сил, що діють на поршні; S_1, S_2 — площі відповідних поршнів.

- **Сила Архімеда в рідині:** $F_А = \rho g V$, де ρ — густина рідини; V — об'єм зануреної частини тіла (об'єм витісненої рідини).

- **Сила Архімеда в газі:** $F_А = \rho g V$, де ρ — густина газу; V — об'єм тіла.

- **Умова плавання тіла в рідині або газі:** $F_А = mg$.

- **Для суцільного тіла** густиною ρ у рідині густиною $\rho_{рід}$:
  $\rho < \rho_{рід}$ тіло плаває на поверхні рідини;
  $\rho = \rho_{рід}$ тіло плаває всередині рідини, повністю занурившись;
  $\rho > \rho_{рід}$ тіло тоне.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Людина масою $M = 71$ кг сидить на стільці масою $m = 1$ кг. Кожна з чотирьох ніжок стільця має площу поперечного перерізу $S_1 = 9$ см^2. Визначте тиск ніжок стільця на підлогу. Вважайте, що кожна ніжка створює на підлогу однаковий тиск; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
20 кПа	80 кПа	200 кПа	800 кПа

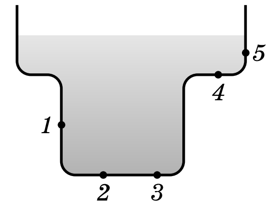
Розв'язання. За означенням тиск $p = \frac{F}{S}$, де F — сила нормального тиску; S — площа поверхні, на яку діє сила. У даному випадку F дорівнює загальній вазі людини зі стільцем: $F = (M + m)g$. Оскільки $S = 4S_1$, отримаємо $p = \frac{(M + m)g}{4S_1} = 2 \cdot 10^5$ Па. Правильна відповідь В.

2. Відомо, що занадто сильно накачаний гумовий м'яч розривається обов'язково там, де його оболонка найтонша. Укажіть закон, наслідком якого є цей факт.

А	Б	В	Г
Закон Архімеда	Закон сполучених посудин	Третій закон Ньютона	Закон Паскаля

Розв'язання. Розрив відбувається в найтоншому місці, тому що тиск повітря в усіх точках оболонки однаковий. Саме це є змістом закону Паскаля, який виконується для рідин і газів. Через свій хаотичний рух молекули газу розподіляються по об'єму газу практично рівномірно, тому удари молекул по ділянках поверхні з однаковою площею відбуваються однаково часто (а саме ці удари спричиняють тиск газу). Правильна відповідь Г.

3. Порівняйте тиски p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 нерухомої рідини на дно та стінки посудини у відповідних точках (див. рисунок).



А	Б
$p_5 < p_4 < p_1 < p_2 = p_3$	$p_5 < p_1 < p_4 < p_2 = p_3$
В	**Г**
$p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5$	$p_1 = p_5 < p_2 = p_3 = p_4$

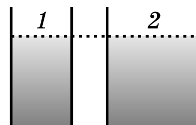
Розв'язання. На перший погляд, за законом Паскаля тиск рідини в усіх точках має бути однаковим. Проте це справедливо лише для невагомості або для зовнішнього тиску (такий тиск можна здійснити за допомогою преса або сильно натиснувши на бічну поверхню закритої пластикової пляшки з водою). Зазвичай тиск спричинений також вагою рідини (вага кожного горизонтального шару рідини діє на нижчу частину рідини, яка є для нього опорою). Тому в нерухомій однорідній рідині тиск однаковий у всіх точках, що розташовані на одному рівні; зі збільшенням глибини тиск теж збільшується (це відчував кожний, хто пірнав на глибину хоча б кількох метрів). Те, що якісь ділянки поверхні посудини горизонтальні, а якісь — вертикальні, не має жодного значення: тиск рідини діє в усіх напрямках однаково. Правильна відповідь А.

4. Площі поршнів гідравлічного пресу $S_1 = 20$ см^2 і $S_2 = 600$ см^2. На менший поршень тиснуть із силою $F_1 = 150$ Н. Визначте силу тиску F_2, яку створює більший поршень.

А	Б	В	Г
1,8 кН	3 кН	4,5 кН	9 кН

Розв'язання. Зовнішній тиск рідина передає в усі точки без змін, тобто тиск рідини на поршні є однаковим (тиск стовпа рідини ρgh у даному випадку нехтовно малий порівняно із зовнішнім тиском). Отже, $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ (це співвідношення часто записують у вигляді пропорції $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$). Звідси $F_2 = 4{,}5$ кН. Правильна відповідь В.

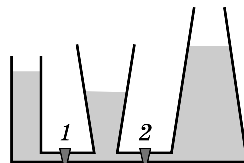
5. Порівняйте тиски p_1 і p_2 води на дно двох посудин і сили F_1 і F_2 тиску на дно цих посудин (див. рисунок). Атмосферний тиск не враховуйте.



А	Б	В	Г
$p_1 = p_2$; $F_1 = F_2$	$p_1 < p_2$; $F_1 = F_2$	$p_1 = p_2$; $F_1 < F_2$	$p_1 < p_2$; $F_1 < F_2$

Розв'язання. Тиск рідини на глибині h залежить від цієї глибини та густини ρ рідини: $p = \rho gh$. Оскільки рівень води в обох посудинах однаковий, то $p_1 = p_2$. А *сила тиску* на поверхню (не слід плутати її з тиском) $F = pS$ залежить ще й від площі цієї поверхні, тому $F_1 < F_2$ (можна міркувати інакше: у посудині з *вертикальними* стінками $F = \rho ghS = mg$, де m — маса рідини в посудині). Правильна відповідь В.

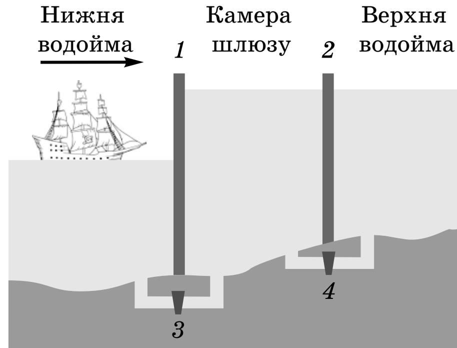
6. Крани 1 і 2 між сполученими посудинами закриті (див. рисунок). Визначте, у яких напрямках потече рідина через ці крани, якщо їх відкрити.



А	Б	В	Г
1 — управо; 2 — управо	1 — управо; 2 — уліво	1 — уліво; 2 — управо	1 — уліво; 2 — уліво

Розв'язання. Зазначимо відразу: форма та розміри посудин несуттєві, слід звернути увагу тільки на рівні рідини в них. Рівновага встановиться тоді, коли тиск в усіх точках рідини на одній горизонталі буде однаковим. Оскільки всі посудини відкриті, це відповідає встановленню однакового рівня рідини в усіх посудинах. До встановлення рівноваги рідина перетікатиме з посудин, де її рівень вищий, до посудин, де її рівень нижчий. Правильна відповідь Б.

7. Визначте, у якій послідовності треба відкривати ворота 1, 2 і затвори 3, 4 шлюзу (див. рисунок), щоб судно пройшло цей шлюз у зазначеному на рисунку напрямку.



А	Б	В	Г
1, 2, 3, 4	3, 1, 4, 2	1, 4, 2, 3	4, 1, 3, 2



Перш за все судно має потрапити до камери шлюзу. Просто відкрити ворота 1 не можна: на судно обрушиться височенна хвиля. А от якщо спочатку відкрити затвор 3, то рівень води в утворених сполучених посудинах зрівняється («зайва» вода з камери шлюзу перетече в нижню водойму). Тепер можна закривати затвор 3 і відкривати ворота 1. Коли судно зайде до камери шлюзу, ворота 1 треба закрити і відкрити затвор 4. Коли вода в камері шлюзу підніметься до рівня верхньої водойми, можна відкривати ворота 2 — і щасливої путі! Правильна відповідь Б.

8. Перша посудина містить воду, а друга — гас. Посудини сполучаються тонкою трубкою на рівні дна. Визначте товщину шару гасу $h_г$, якщо товщина шару води $h_в = 40$ см. Густина гасу $\rho_г = 800$ кг/м^3; густина води $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

А	Б	В	Г
26 см	32 см	50 см	62 см

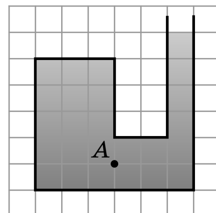
Розв'язання. Рідини перебувають у рівновазі (не відбувається перетікання), якщо на рівні дна, де посудини сполучаються, тиски води та гасу однакові: $\rho_в g h_в = \rho_г g h_г$. Отже, $\frac{h_г}{h_в} = \frac{\rho_в}{\rho_г}$ (товщина шару рідини обернено пропорційна її густині). Звідси $h_г = 50$ см. Правильна відповідь В.

9. Атмосферний тиск біля підніжжя пагорба дорівнює 97,5 кПа, а на вершині пагорба — 94,9 кПа. Визначте висоту h пагорба. Густина повітря $\rho = 1{,}3$ кг/м^3; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
200 м	260 м	730 м	750 м

Розв'язання. Атмосферний тиск на вершині пагорба менший на $\Delta p = 2{,}6$ кПа, тобто на тиск повітряного стовпа висотою h. Отже, $\Delta p = \rho g h$, звідки $h = \frac{\Delta p}{g\rho} = 200$ м (ми скористалися тим, що на висоті до кількасот метрів зміною густини повітря можна знехтувати). Правильна відповідь А.

10. Поданий на рисунку бак містить рідину з густиною ρ. Визначте тиск у точці A, якщо сторона кожного квадрата сітки на рисунку дорівнює b, а атмосферний тиск $p_а$.



А	Б	В	Г
$p_а + \rho g b$	$p_а + 4\rho g b$	$p_а + 5\rho g b$	$p_а + 6\rho g b$

Розв'язання. Тиск у точці A складається з атмосферного тиску та тиску стовпа рідини: $p = p_а + \rho g h$. Слід лише правильно визначити глибину h. Звідки треба вимірювати цю глибину — може, від кришки баку над точкою A (хоч і не зовсім зрозуміло, на якій висоті ця кришка)? Відповідь є простою: глибину треба вимірювати *від вільної поверхні* рідини, адже саме на цій поверхні тиск дорівнює атмосферному. Отже, глибина точки A дорівнює $5b$. Правильна відповідь В.

11. Рідинний манометр (рис. 1) заповнений ртуттю. Визначте тиск p у балоні Б, якщо атмосферний тиск $p_а = 100$ кПа; густина ртуті $\rho = 14\,000$ кг/м^3. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

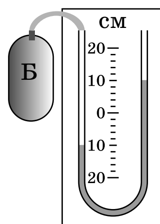


Рис. 1

А	Б	В	Г
72 кПа	86 кПа	114 кПа	128 кПа

Розв'язання. Дві трубки ртутного манометра — це сполучені посудини. Коли обидві ці посудини відкриті зверху, рівень ртуті в них однаковий. Коли ж ліва трубка приєднана до

балона, ртуть розташовується так, що тиски в обох трубках на одній горизонталі однакові. Запишемо цю умову для точок 1 і 2 (рис. 2). Тиск у точці 1 дорівнює p; тиск у точці 2 складається з атмосферного тиску та тиску стовпчика ртуті висотою Δh (це *різниця* рівнів ртуті в трубках). Отже, $p = p_а + \rho g \Delta h = 128$ кПа. Правильна відповідь Г. (Як бачимо, різниця рівнів рідини в трубках рідинного манометра дозволяє визначити різницю тисків газу в цих трубках.)

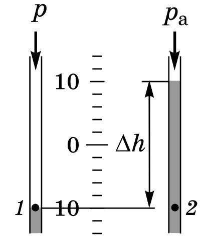
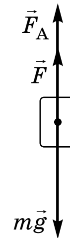


Рис. 2

12. До динамометра підвісили тіло масою $m = 1{,}2$ кг і об'ємом $V = 500$ см^3. Визначте, яким буде показ динамометра, якщо тіло опустити в гас. Густина гасу $\rho = 800$ кг/м^3; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
4 Н	8 Н	12 Н	16 Н

Розв'язання. На тіло діятимуть три сили (див. рисунок): сила тяжіння $m\vec{g}$, сила Архімеда $\vec{F}_А$ і сила пружності $\vec{F}$ з боку пружини динамометра. З умови рівноваги тіла $F_А + F - mg = 0$ і формули сили Архімеда $F_А = \rho g V$ отримаємо $F = mg - \rho g V = 8$ Н. Правильна відповідь Б.



13. Маса чавунної кулі $m = 140$ кг. Визначте, яка сила F потрібна, щоб підняти цю кулю зі дна басейна з водою. Густина чавуна $\rho = 7000$ кг/м^3, густина води $\rho_в = 1000$ кг/м^3; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
1,6 кН	1,4 кН	1,2 кН	0,2 кН

Розв'язання. Щоб підняти кулю, необхідно прикласти силу $F = mg - \rho_в g V$ (див. попередню задачу). Оскільки об'єм кулі $V = \frac{m}{\rho}$, отримуємо $F = mg\left(1 - \frac{\rho_в}{\rho}\right) = 1{,}2$ кН. Правильна відповідь В.

14. Визначте, як і на скільки змінилася осадка танкера, коли в нього закачали $m = 309$ т нафти. Площа горизонтального перерізу корпуса танкера на рівні ватерлінії $S = 3000$ м^2, густина морської води $\rho = 1030$ кг/м^3.

А	Б	В	Г
Збільшилася на 10 см	Збільшилася на 1 см	Зменшилася на 10 см	Зменшилася на 1 см

Розв'язання. З умови плавання тіл (сила Архімеда дорівнює силі тяжіння) випливає, що маса судна дорівнює масі «витисненої» води (тобто води в об'ємі зануреної частини судна). Отже, судно опустилося, додатково витиснувши воду масою m. Осадка (глибина нижньої точки судна) збільшилася на Δh, при цьому об'єм витисненої води збільшився на $S\Delta h$, тому $m = \rho S \Delta h$. Звідси $\Delta h = \frac{m}{\rho S} = 0{,}1$ м. Правильна відповідь А.

15. Плоска крижина плаває в річці, виступаючи над водою на $h = 4$ см. Визначте висоту H підводної частини крижини. Густина льоду $\rho = 900$ кг/м^3; густина води $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

А	Б	В	Г
4 см	32 см	36 см	40 см

Розв'язання. Позначимо S площу крижини. З умови плавання випливає, що маса $\rho S(h + H)$ крижини дорівнює масі $\rho_в SH$ води в об'ємі підводної частини крижини. Звідси отримуємо $H = \frac{\rho}{\rho_в - \rho} h = 36$ см. Правильна відповідь В.

16. Повітряну кулю об'ємом $V = 250$ м^3 наповнено теплим повітрям. Коли загальна маса оболонки та вантажу становить $m = 120$ кг, куля плаває на висоті, де густина повітря $\rho_п = 1{,}19$ кг/м^3. Визначте густину ρ теплого повітря всередині кулі.

А	Б	В	Г
0,48 кг/м^3	0,71 кг/м^3	1,14 кг/м^3	1,67 кг/м^3

Розв'язання. Куля плаває на такій висоті, що сила Архімеда $\vec{F}_А$ зрівноважує силу тяжіння $\vec{F}_{тяж}$, тобто модулі цих сил однакові. Оскільки $F_А = \rho_п gV$, а $F_{тяж} = g(m + \rho V)$, отримуємо $\rho = \rho_п - \frac{m}{V} = 0{,}71$ кг/м^3 (ми врахували, що сила тяжіння діє на оболонку, вантаж і тепле повітря всередині кулі). Правильна відповідь Б.

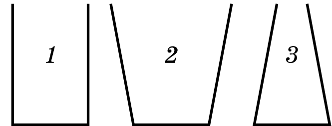
Другий рівень

1. Визначте, в якому випадку із зазначених тиск стовпа рідини або газу *не можна* обчислити за формулою $p = \rho g h$.

А	Б	В	Г
Тиск стовпа ртуті в досліді Торрічеллі	Тиск повітря в шахтному стволі глибиною 100 м	Тиск атмосфери на рівні поверхні океану	Тиск стовпа води на дно озера

Розв'язання. Зазначену формулу отримано за припущення, що густина ρ речовини і прискорення g вільного падіння не змінюються з висотою. Останнє припущення виконується з великою точністю в усіх наведених випадках (оскільки товщина шару речовини набагато менша від радіуса Землі). Що ж до густини, то в рідини вона практично не змінюється з висотою (рідина практично нестислива), а густина газів суттєво змінюється залежно від температури та тиску. На глибині 100 м зміна густини повітря ще невелика, а на висоті кількох кілометрів — уже дуже помітна. Якщо б густина повітря була всюди такою, як на рівні моря (близько $1{,}3\ кг/м^3$), то з формули $h = \frac{p}{\rho g}$ можна було би зробити висновок, що нормальний атмосферний тиск 101 кПа створюється стовпом повітря висотою менше ніж 8 км! Якби товщина атмосфери була такою, то вершини найвищих гір були би вже поза земною атмосферою. Насправді ж густина атмосфери плавно зменшується з висотою (приблизно вдвічі кожні 5,5 км), а розріджена атмосфера існує й на висоті кількох сотень кілометрів. Отже, правильна відповідь В.

2. На рисунку подано три посудини. У кожну з них наливають воду. Визначте, чи є з поданих такі посудини (і які саме), в яких сила F тиску рідини на дно більша за вагу P самої рідини. Атмосферний тиск не враховуйте.



А	Б	В	Г
Таких посудин немає	Посудини 1 і 2	Посудина 3	Посудини 2 і 3

Розв'язання. Припустимо для спрощення, що всі три посудини мають однакову площу S дна і маса m води в усіх посудинах однакова. Оскільки тиск рідини на дно $p = \rho g h$, сила тиску $F = pS = \rho g h S$. Для посудини 1 об'єм води $V = h_1 S$, звідки $F_1 = \rho g V = mg$. Отже, для цієї посудини $F_1 = P$. Очевидно, що за однакової кількості води висота її рівня в посудинах буде різною: $h_2 < h_1$, $h_3 > h_1$. Тому $F_2 < F_1 = P$, $F_3 > F_1 = P$. Правильна відповідь В.

3. У ліве коліно U-подібної трубки з водою долили шар гасу заввишки $h_г = 25$ см. Визначте, на скільки піднявся рівень води в правому коліні трубки. Густина гасу $\rho_г = 800$ кг/м^3; густина води $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

А	Б	В	Г
На 20 см	На 15 см	На 10 см	На 5 см



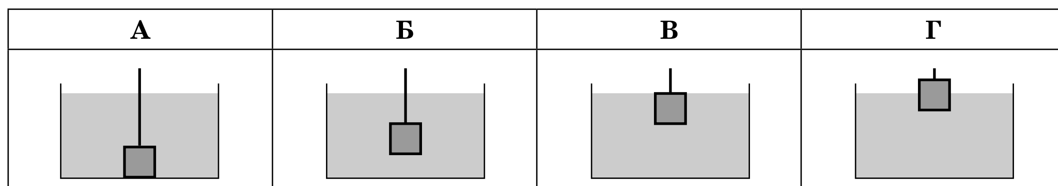
Здається, є дуже просте розв'язання цієї задачі. Зміна рівня води залежить від тиску гасу: $p = \rho_г g h_г$. Проте такий самий тиск створюватиме шар *води* за умови $\rho_в g h_в = \rho_г g h_г$. Відповідна висота шару *води* буде $h_в = \frac{\rho_г}{\rho_в} h_г = 20$ см. Але ж очевидно: якщо долити воду, вона розділиться порівну між обома колінами трубки! Отже, рівень води підніметься на 10 см. Правильна відповідь В.

4. Визначте (*у см рт. ст.*) тиск у барометричній трубці зі ртуттю на висоті 25 см від рівня ртуті в широкій посудині, якщо атмосферний тиск дорівнює 76 см рт. ст.

Розв'язання. Тиск у трубці на рівні поверхні ртуті в широкій посудині дорівнює атмосферному тиску. Чим вище розташована точка в барометричній трубці, тим менший тиск у цій точці. У даному випадку слід відняти від атмосферного тиску (76 см рт. ст.) тиск стовпа ртуті заввишки 25 см. Отримаємо 51 см рт. ст.
Відповідь: 51.

5. Мідний кубик, натертий парафіном, опускають на нитці в заповнений водою акваріум з гладеньким дном. Визначте, у якому випадку НЕ виникає архімедова сила.

А	Б	В	Г



Розв'язання. Причина виникнення сили Архімеда — залежність тиску в рідині від глибини. Через це сила тиску води на нижню грань кубика більша, ніж на верхню. Рівнодійна цих двох сил, напрямлених протилежно, і є сила Архімеда. Якщо ж натерта парафіном (тобто не змочувана водою) грань кубика щільно прилягає до дна, то вода не підтікає під кубик і не тисне на цю грань; сила Архімеда не виникає (просто з формули цього не побачиш, бо кубик витісняє певний об'єм води). Правильна відповідь А.

6. Порожнисту скляну кульку кинули у воду. Визначте (*у відсотках*), яку частину об'єму кульки займає порожнина, якщо кулька плаває у воді, занурившись наполовину. Густина скла $\rho = 2500$ кг/м^3; густина води $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

Розв'язання. Позначимо V об'єм кульки, а V_1 — об'єм порожнини. Відповідно до умови плавання маса кульки дорівнює масі води в половині об'єму кульки: $\rho(V - V_1) = \frac{1}{2}\rho_в V$. Звідси $\frac{V_1}{V} = 1 - \frac{\rho_в}{2\rho} = 0{,}8$. Отже, порожнина займає 80 % об'єму кульки.

Відповідь: 80.

7. Сталева кулька масою m і об'ємом V опускається на дно водойми, рухаючись рівномірно. Визначте модуль сили опору рухові, якщо густина води дорівнює ρ.

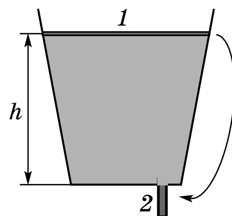
А	Б	В	Г
$mg + \rho gV$	$\rho gV - mg$	ρgV	$mg - \rho gV$

Розв'язання. Кулька рухається прямолінійно рівномірно під дією трьох сил: сили тяжіння $m\vec{g}$, напрямленої вниз, і напрямлених угору сили Архімеда (її модуль ρgV) та сили опору рухові $\vec{F}_{оп}$. Прискорення руху кульки дорівнює нулю; отже, сили компенсують одна одну: $mg = \rho gV + F_{оп}$. Звідси отримаємо $F_{оп} = mg - \rho gV$. Правильна відповідь Г.

8. Рівень води в широкій посудині дорівнює h (див. рисунок). У дні посудини зробили маленький отвір. Визначте швидкість v витікання рідини з отвору, вважаючи рідину ідеальною.

А	Б	В	Г
$\frac{\sqrt{gh}}{2}$	$\sqrt{gh}$	$\sqrt{2gh}$	$2\sqrt{gh}$

Розв'язання. Якщо вважати рідину ідеальною, то не слід враховувати перехід механічної енергії у внутрішню (наприклад, унаслідок в'язкості, тобто «тертя» між шарами рідини). Тоді можна скористатися законом збереження енергії, розглядаючи лише перетворення потенціальної енергії рідини на кінетичну. Оскільки за умовою отвір маленький, можна не враховувати кінетичну енергію дуже повільного руху рідини в посудині, а розглядати лише кінетичну енергію струменя.



Нехай за маленький інтервал часу витекла рідина масою Δm. За цей час рівень рідини трохи понизився. Ця ситуація еквівалентна тому, що рідина масою Δm перейшла з положення 1 у положення 2 (див. рисунок), набувши при цьому швидкості v. Отже, $\Delta m \cdot gh = \frac{\Delta m \cdot v^2}{2}$, звідки $v = \sqrt{2gh}$. Правильна відповідь В. (Зазначимо, що відповідь не залежить від площі отвору, якщо вона мала, та від форми посудини.)

9. Повітряну кулю заповнено газом, густина якого в 4 рази менша за густину повітря. Газ нагрівся, унаслідок чого 20 % цього газу вийшло через клапан (об'єм кулі залишився незмінним). Визначте, у скільки разів збільшилася маса вантажу, який куля може відірвати від землі. Вагу оболонки кулі не враховуйте.

А	Б	В	Г
У $\frac{16}{15}$ разу	У $\frac{6}{5}$ разу	У $\frac{5}{4}$ разу	У $\frac{3}{2}$ разу

Розв'язання. З умови плавання кулі в повітрі випливає: сума маси $m_в$ вантажу та маси $m_г$ газу всередині оболонки має дорівнювати масі $m_{пов}$ витисненого повітря: $m_в + m_г = m_{пов}$. Очевидно, що початкове значення $m_г$ було в 4 рази меншим, ніж $m_{пов}$. Звідси випливає, що початкове значення припустимої маси вантажу $m_{в1} = m_{пов} - \frac{1}{4}m_{пов} = \frac{3}{4}m_{пов}$. Після виходу частини газу значення $m_{пов}$ не змінилося, оскільки не змінився об'єм кулі. А от маса газу тепер становить $\frac{1}{4}m_{пов}(1-0{,}2) = \frac{1}{5}m_{пов}$. Нове значення припустимої маси вантажу $m_{в2} = m_{пов} - \frac{1}{5}m_{пов} = \frac{4}{5}m_{пов}$. Отже, припустима маса вантажу збільшилася в $\frac{16}{15}$ разу. Правильна відповідь А.

10. Повітряну кулю з еластичною оболонкою заповнено газом, густина якого в 4 рази менша за густину повітря. Унаслідок нагрівання газу оболонка розтяглася й густина газу зменшилася на 20 %. Визначте, у скільки разів збільшилася маса вантажу, який куля може відірвати від землі. Вагу оболонки кулі не враховуйте.

А	Б	В	Г
У $\frac{16}{15}$ разу	У $\frac{6}{5}$ разу	У $\frac{5}{4}$ разу	У $\frac{4}{3}$ разу

Розв'язання. З умови плавання кулі в повітрі випливає: сума маси $m_в$ вантажу та маси $m_г$ газу всередині оболонки має дорівнювати масі $m_{пов}$ витисненого повітря: $m_в + m_г = m_{пов}$. Очевидно, що початкове значення $m_{пов}$ було в 4 рази більшим, ніж $m_г$, тобто $m_{пов1} = 4m_г$. Звідси початкова припустима маса вантажу $m_{в1} = 4m_г - m_г = 3m_г$. На відміну від попередньої задачі після нагрівання газу незмінною залишається його маса $m_г$, а об'єм газу збільшується: $V_2 = \frac{m_г}{\rho_2} = \frac{m_г}{0,8\rho_1} = \frac{V_1}{0,8} = 1,25V_1$. Отже, маса витисненого повітря теж збільшується в 1,25 разу: $m_{пов2} = 4m_г \cdot 1,25 = 5m_г$. Таким чином, кінцеве значення припустимої маси вантажу $m_{в2} = 5m_г - m_г = 4m_г$. Це значення збільшилось у $\frac{4}{3}$ разу. Правильна відповідь Г.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, з яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте тиск води на дно водойми глибиною 45 м. Густина води 1000 кг/м^3; вважайте, що $g = 10$ м/с^2. Атмосферний тиск не враховуйте.

А	Б	В	Г
45 кПа	450 кПа	4,5 МПа	45 МПа

2. Визначте силу, з якою атмосфера тисне на стіл розмірами $2 \times 2,5$ м. Атмосферний тиск дорівнює 100 кПа.

А	Б	В	Г
80 кН	125 кН	200 кН	500 кН

3. Атмосферний тиск на рівні поверхні Землі дорівнює 97,5 кПа. Визначте тиск повітря на дні свердловини глибиною 500 м. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; густина повітря дорівнює 1,3 кг/м^3.

А	Б	В	Г
6,5 кПа	75 кПа	91 кПа	104 кПа

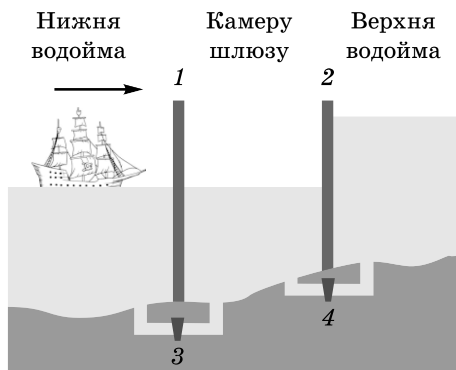
4. Визначте тиск в озері на глибині 7 м, якщо атмосферний тиск становить 100 кПа. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; густина води дорівнює 1000 кг/м^3.

А	Б	В	Г
30 кПа	70 кПа	170 кПа	800 кПа

5. Площі поршнів гідравлічної машини дорівнюють 15 і 300 см^2. Визначте, який найбільший виграш у силі та в роботі може дати ця машина.

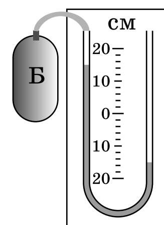
А	Б	В	Г
У силі — в 400 разів; у роботі — в 20 разів	У силі — в 20 разів; у роботі — в 20 разів	У силі — в 400 разів; у роботі виграшу немає	У силі — в 20 разів; у роботі виграшу немає

6. Визначте, в якій послідовності треба відкривати ворота 1, 2 і затвори 3, 4 шлюзу (див. рисунок), щоб судно пройшло цей шлюз у зазначеному на рисунку напрямку.



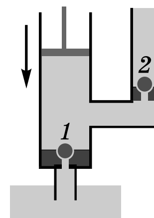
А	Б	В	Г
1, 2, 4	3, 1, 2	1, 4, 2	3, 4, 2

7. Рідинний манометр (див. рисунок) заповнений ртуттю. Визначте тиск у балоні Б, якщо атмосферний тиск дорівнює 100 кПа, а густина ртуті становить 14 000 кг/м^3. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.



А	Б	В	Г
58 кПа	79 кПа	121 кПа	142 кПа

8. Поршень водяного насоса (див. рисунок) рухається вниз. Визначте, закриті чи відкриті клапани 1 і 2 цього насоса.



А	Б	В	Г
Обидва клапани відкриті	Клапан 1 відкритий, клапан 2 закритий	Обидва клапани закриті	Клапан 1 закритий, клапан 2 відкритий

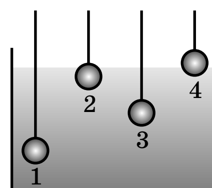
9. Визначте, яка сила Архімеда діє на тіло об'ємом $0{,}4\ м^3$, повністю занурене в рідину з густиною $800\ кг/м^3$. Вважайте, що $g = 10\ м/с^2$.

А	Б	В	Г
0,5 кН	2 кН	3,2 кН	5 кН

10. Визначте, яка сила Архімеда діє на дирижабль об'ємом $2000\ м^3$. Вважайте, що густина повітря дорівнює $1{,}3\ кг/м^3$; $g = 10\ м/с^2$.

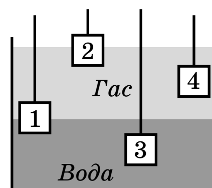
А	Б	В	Г
26 кН	2,6 кН	6,5 кН	650 Н

11. Порівняйте сили Архімеда F_1, F_2, F_3, F_4, які діють на однакові мідні кульки у воді (див. рисунок).



А	Б
$F_1 > F_3 > F_2 > F_4$	$F_1 = F_3 > F_2 = F_4$
В	**Г**
$F_4 > F_2 > F_3 > F_1$	$F_1 = F_3 > F_2 > F_4$

12. Порівняйте сили Архімеда F_1, F_2, F_3, F_4, які діють на однакові алюмінієві кубики (див. рисунок).



А	Б
$F_3 < F_1 < F_4 < F_2$	$F_2 < F_1 < F_4 < F_3$
В	**Г**
$F_2 < F_4 < F_1 < F_3$	$F_1 < F_2 < F_4 < F_3$

13. На тіло, повністю занурене у воду, діє архімедова сила 60 Н. Визначте, яка архімедова сила діятиме на це тіло при повному зануренні в розчин солі густиною 1200 кг/м^3. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$.

А	Б	В	Г
50 Н	60 Н	72 Н	86 Н

14. Визначте густину рідини, якщо в цій рідині на тіло об'ємом $5\,дм^3$ діє архімедова сила 40 Н. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
$800\,кг/м^3$	$1250\,кг/м^3$	$8000\,кг/м^3$	$12\,500\,кг/м^3$

15. Коли підвішений до динамометра суцільний вантаж опустили у воду, показ динамометра зменшився на 45 Н. Визначте об'єм вантажу. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
45 дм^3	4,5 дм^3	450 см^3	45 см^3

16. Визначте густину суцільного тіла масою 540 г, якщо в гасі на нього діє сила Архімеда 1,6 Н. Густина гасу дорівнює $800\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
1600 кг/м^3	2000 кг/м^3	2700 кг/м^3	5400 кг/м^3

17. Тіло масою 2 кг підвісили до динамометра та опустили у воду. Визначте об'єм тіла, якщо динамометр показує 14 Н. Густина води становить $1000\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
140 см^3	600 см^3	1,4 дм^3	6 дм^3

18. Визначте силу, яку необхідно прикласти до чавунної пластинки розмірами $8 \times 5 \times 2$ см, щоб підняти її у воді. Густина чавуна дорівнює $7000\,кг/м^3$, густина води — $1000\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,8 Н	2,8 Н	3,8 Н	4,8 Н

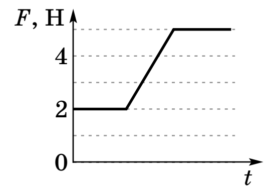
19. Скляна пластинка масою 150 г занурена у воду на одну третину свого об'єму. Визначте архімедову силу, що діє на пластинку. Густина скла дорівнює $2500\,кг/м^3$, густина води — $1000\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,2 Н	0,5 Н	2,5 Н	7,5 Н

20. Коли підвішений до динамометра суцільний вантаж повністю занурили у воду, показ динамометра зменшився на 40 %. Визначте густину вантажу. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$.

А	Б	В	Г
$400\,кг/м^3$	$1600\,кг/м^3$	$2500\,кг/м^3$	$4000\,кг/м^3$

21. Суцільний циліндричний вантаж, який стояв на дні басейна з водою, рівномірно піднімають на мотузці. На рисунку подано графік залежності сили натягу мотузки від часу. Визначте густину вантажу. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$.



А	Б	В	Г
$400\,кг/м^3$	$1200\,кг/м^3$	$1670\,кг/м^3$	$2500\,кг/м^3$

22. На іграшковий крейсер, який плаває у воді, діє архімедова сила 20 Н. Визначте архімедову силу, яка діятиме на цей крейсер, якщо він плаватиме в розчині солі. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$, густина розчину солі — $1250\,кг/м^3$.

А	Б	В	Г
16 Н	20 Н	25 Н	31 Н

23. Соснова дошка товщиною 5 см плаває у воді. Визначте висоту надводної частини дошки. Густина сосни дорівнює $400\,кг/м^3$, густина води — $1000\,кг/м^3$.

А	Б	В	Г
1,5 см	2 см	3 см	3,5 см

24. Маса ареометра дорівнює 19,2 г, а площа поперечного перерізу його вертикальної трубки зі шкалою становить $25\,мм^2$. Визначте відстань між поділками шкали « $0,96\,г/см^3$ » і « $1,00\,г/см^3$ ».

А	Б	В	Г
0,96 см	1,92 см	3,2 см	3,8 см

25. Оболонку аеростата об'ємом $400\,м^3$ заповнено воднем. Маса оболонки дорівнює 50 кг. Визначте підіймальну силу аеростата. Густина повітря дорівнює $1,29\,кг/м^3$, густина водню — $0,09\,кг/м^3$; вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,36 кН	4,3 кН	4,8 кН	5,2 кН

26. Коли всі пасажири теплохода зійшли на берег, щоб оглянути місто, осадка теплохода зменшилася на 5 см. Площа горизонтального перерізу корпусу теплохода на рівні ватерлінії дорівнює $400\,м^2$, густина води становить $1000\,кг/м^3$. Визначте кількість пасажирів, якщо середня маса пасажира дорівнює 80 кг.

А	Б	В	Г
50	250	400	500

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між глибиною, на якій міститься водолаз, і тиском у воді. Вважайте, що атмосферний тиск дорівнює 100 кПа, $g = 10$ м/с^2; густина води становить $1000\,кг/м^3$.

1 10 м
2 30 м
3 40 м
4 70 м

А 300 кПа
Б 500 кПа
В 200 кПа
Г 800 кПа
Д 400 кПа

28. Скориставшись наведеною таблицею, установіть відповідність між рідиною та твердою речовиною, пластинка з якої плаватиме в цій рідині, витісняючи найбільший об'єм рідини. Розміри всіх пластинок однакові.

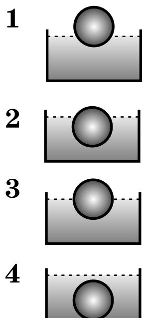
Рідина	Густина, кг/м^3	Тверда речовина	Густина, кг/м^3
Вода	1000	Дуб сухий	800
Масло машинне	890	Залізо	7800
Мідь розплавлена	8600	Лід	900
Ртуть	13 600	Свинець	11 300
		Чавун	7000

1 Масло машинне
2 Ртуть
3 Мідь розплавлена
4 Вода

А Лід
Б Чавун
В Свинець
Г Дуб сухий
Д Залізо

29. Суцільні кулі з різних речовин поміщають у різні рідини. Скориставшись наведеною таблицею, установіть відповідність між рисунками та речовинами.

Рідина	Густина, кг/м^3	Тверда речовина	Густина, кг/м^3
Вода	1000	Деревина	650
Гліцерин	1300	Корок	240
Ртуть	13 600	Свинець	11 300



А Корок і ртуть
Б Свинець і ртуть
В Свинець і вода
Г Деревина та гліцерин
Д Корок і гліцерин

30. Установіть відповідність між призначенням приладу та назвою приладу.

1 Вимірювання тиску рідин і газів	**А** Барометр
2 Вимірювання модуля сили	**Б** Ареометр
3 Вимірювання густини рідини	**В** Манометр
4 Вимірювання атмосферного тиску	**Г** Мікрометр
	Д Динамометр

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Вісім однакових сполучених посудин містять воду. В одну з посудин доливають гас, який утворює над водою шар заввишки 15 см. Визначте (*у сантиметрах*), на скільки підніметься рівень води в решті посудин. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$, густина гасу — $800\,кг/м^3$.

32. У плоскому дні баржі з осадкою 80 см виникла пробоїна площею $0{,}1\,м^2$. Її закрили металевою пластинкою з вантажем. Визначте (*у кілограмах*), за якої мінімальної сумарної маси пластинки з вантажем на ній вода не потраплятиме до трюму. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$.

33. Коли підвішений до динамометра брусок опустили у воду, динамометр показав 20 Н, а коли цей брусок опустили в гас — 21 Н. Визначте (*у кілограмах*) масу бруска. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$, густина гасу — $800\,кг/м^3$; вважайте, що $g=10$ м/с^2.

34. Порожниста цинкова куля плаває в гасі, зануривши́сь у нього на 45 % свого об'єму. Визначте, яку частину об'єму кулі займає порожнина. Густина гасу дорівнює $800\,кг/м^3$, густина цинку — $7200\,кг/м^3$.

35. Дерев'яна кулька масою 30 г і об'ємом $50\,см^3$ спливає у воді, рухаючись рівномірно. Визначте (*у ньютонах*) модуль сили опору рухові. Густина води дорівнює $1000\,кг/м^3$; вважайте, що $g=10$ м/с^2.

36. Коли тепле повітря всередині повітряної кулі остигло, його густина збільшилася від 1,02 до $1{,}11\,кг/м^3$. Визначте, у скільки разів зменшилася внаслідок цього підіймальна сила повітряної кулі. Масою оболонки можна знехтувати. Густина атмосферного повітря дорівнює $1{,}29\,кг/м^3$.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – 2 , 0 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	,	33	,
32	,	34	,

35	,
36	,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Розділ 5. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

Що треба згадати

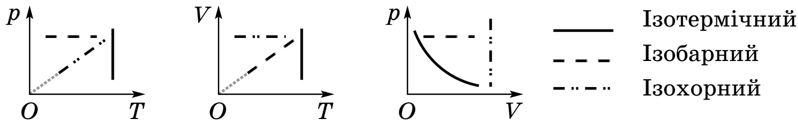
- **Молярна маса:** $M = m_0 N_A$, де m_0 — маса молекули; N_A — стала Авогадро.
- **Відносна молекулярна маса:** $M_r = \frac{m_0}{m_0(C)/12}$, де $m_0(C)$ — маса атома Карбону.
- **Кількість речовини:** $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$, де N — кількість молекул.
- **Маса речовини:** $m = m_0 N = \nu M$.
- **Концентрація молекул:** $n = \frac{N}{V}$, де V — об'єм речовини.
- **Густина речовини:** $\rho = \frac{m}{V} = n m_0$, де n — концентрація молекул.
- **Основне рівняння МКТ ідеального газу:** $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{W}_к$, де p — тиск газу; $\overline{W}_к$ — середня кінетична енергія поступального руху молекул.
- **Зв'язок $\overline{W}_к$ з абсолютною температурою T:** $\overline{W}_к = \frac{3}{2} kT$, де k — стала Больцмана.
- **Середня квадратична швидкість молекул:** $\bar{v}_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$, де $R = kN_A$ — універсальна газова стала.
- **Тиск ідеального газу:** $p = nkT$, де n — концентрація молекул; k — стала Больцмана; T — абсолютна температура.
- **Рівняння стану ідеального газу:**

  Рівняння Клапейрона: $\frac{pV}{T} = \text{const}$ за незмінної кількості газу, де p — тиск газу; V — об'єм газу; T — абсолютна температура газу.

  Рівняння Менделєєва — Клапейрона: $pV = \frac{m}{M} RT$, де m і M — відповідно маса та молярна маса газу; R — універсальна газова стала.

Газові закони (виконуються для ізопроцесів):
Закон Бойля — Маріотта: $pV = \text{const}$, якщо $T = \text{const}$ (ізотермічний процес).
Закон Гей-Люссака: $\frac{V}{T} = \text{const}$, якщо $p = \text{const}$ (ізобарний процес).
Закон Шарля: $\frac{p}{T} = \text{const}$, якщо $V = \text{const}$ (ізохорний процес).

Схематичні графіки ізопроцесів:



Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Визначте речовини, між якими дифузія за кімнатної температури відбувається найшвидше.

А	Б	В	Г
Вода та спирт	Метан і азот	Золото та свинець	Повітря та вода

Розв'язання. Дифузія (взаємне проникнення речовин) відбувається внаслідок хаотичного теплового руху частинок (молекул, атомів, йонів тощо) і наявності проміжків між ними. Швидкість дифузії залежить від середньої швидкості руху частинок і середньої відстані між ними. Швидкості руху частинок зазначених речовин за однакової температури можуть відрізнятися в кілька разів, але набагато важливішим чинником є середня відстань між частинками. У газах вона найбільша, тому саме в газах швидкість дифузії набагато більша. Правильна відповідь Б.

2. Визначте кількість N атомів у вугіллі масою $m = 240$ г. Стала Авогадро $N_А = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$, молярна маса Карбону $M = 0{,}012$ кг/моль.

А	Б	В	Г
$3 \cdot 10^{21}$	$1{,}2 \cdot 10^{23}$	$3 \cdot 10^{25}$	$1{,}2 \cdot 10^{25}$

Розв'язання. Кількість речовини $\nu = \frac{m}{M}$. Оскільки на кожний моль речовини припадає кількість частинок, яка чисельно дорівнює $N_А$, загальна кількість атомів $N = \nu N_А = \frac{m}{M} N_А = 1{,}2 \cdot 10^{25}$. Правильна відповідь Г.

3. Порівняйте кількість речовини у 3 г водню $(\nu_в)$ та у 12 г гелію $(\nu_г)$. Відносна атомна маса Гідрогену дорівнює 1, відносна атомна маса Гелію — 4.

А	Б	В	Г
$\nu_в = 2\nu_г$	$\nu_в = \nu_г$	$\nu_г = 2\nu_в$	$\nu_г = 4\nu_в$

Розв'язання. Нагадаємо, що кількість речовини $\nu = \frac{m}{M}$, де m — маса речовини, M — молярна маса, яку можна знайти, помноживши відносну молекулярну масу на 10^{-3} кг/моль. Щоб уникнути типової помилки, не слід забувати: молекули водню — двоатомні! Отже, молярна маса водню не 10^{-3} кг/моль, а $2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Звідси отримуємо $\nu_в = 1{,}5$ моль і $\nu_г = 3$ моль. Правильна відповідь В.

4. Порівняйте кількості молекул в однакових об'ємах кисню $(N_к)$ і чадного газу $(N_ч)$ за однакових умов. Молярна маса кисню дорівнює 0,032 кг/моль, чадного газу — 0,028 кг/моль.

А	Б	В	Г
$N_к = \frac{7}{8} N_ч$	$N_к = N_ч$	$N_к = \frac{8}{7} N_ч$	$N_к = \frac{64}{49} N_ч$

Розв'язання. У даному випадку однакові умови — це однаковий тиск і однакова температура. Зі співвідношення $p = nkT = \frac{N}{V} kT$ випливає: однакові об'єми *будь-яких* розріджених газів за однакових умов містять однакові кількості молекул (цей факт установив А. Авогадро у XIX ст.). Правильна відповідь Б.

5. Укажіть, як змінюється концентрація молекул газу під час таких процесів: 1 — ізотермічне розширення; 2 — ізобарне охолодження; 3 — ізохорне нагрівання.

А	Б	В	Г
1 — не змінюється; 2 — збільшується; 3 — зменшується	1 — зменшується; 2 — не змінюється; 3 — збільшується	1 — зменшується; 2 — збільшується; 3 — не змінюється	1 — збільшується; 2 — зменшується; 3 — не змінюється

Розв'язання. Під час усіх ізопроцесів кількість N молекул газу не змінюється. Отже, концентрація молекул $n = \frac{N}{V}$ збільшується при зменшенні об'єму газу та зменшується при збільшенні об'єму. Якщо врахувати, що під час ізобарного охолодження об'єм газу зменшується, доходимо висновку: правильна відповідь В.

6. Визначте, у скільки разів збільшився об'єм повітряної бульбашки, яка спливла з глибини $h = 5$ м до поверхні водойми. Вважайте, що температура води всюди однакова, атмосферний тиск $p_а = 100$ кПа; $g = 10$ м/с^2; густина води $\rho = 1000$ кг/м^3. Поверхневий натяг рідини не враховуйте.

А	Б	В	Г
У 1,5 разу	У 2,0 разу	У 2,5 разу	У 5,0 разу

Розв'язання. Якщо не враховувати поверхневий натяг води, тиск повітря в бульбашці не відрізняється від тиску навколишньої води. Отже, під час спливання цей тиск зменшується від $p_а + \rho g h$ до $p_а$. Повітря в бульбашці ізотермічно розширюється. За законом Бойля — Маріотта об'єм повітря збільшиться у стільки разів, у скільки зменшиться тиск, тобто у $\frac{p_а + \rho g h}{p_а} = 1{,}5$ разу. Правильна відповідь А.

7. Після ізохорного нагрівання газу на $\Delta T = 7$ К його тиск зріс на 2,5 % від початкового. Визначте початкову температуру T_0 газу.

А	Б	В	Г
245 К	280 К	315 К	350 К

Розв'язання. При ізохорному процесі тиск газу прямо пропорційний його температурі: $\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0} = \frac{T_0 + \Delta T}{T_0}$. Звідси $T_0 = \frac{\Delta T}{\frac{p}{p_0} - 1}$. За умовою $\frac{p}{p_0} = 1{,}025$. Підставивши числові значення величин, отримуємо $T_0 = 280$ К. Правильна відповідь Б.

8. За температури $T_1 = 280$ К об'єм газу $V_1 = 49$ л. Визначте, яким стане об'єм V_2 газу після нагрівання до $T_2 = 360$ К і підвищення тиску у 3 рази.

А	Б	В	Г
14 л	21 л	28 л	35 л

Розв'язання. Задачі на порівняння двох станів газу незмінної маси зручно розв'язувати, скориставшись рівнянням Клапейрона $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$. Отримуємо $V_2=V_1\frac{T_2}{T_1}\cdot\frac{p_1}{p_2}=V_1\frac{T_2}{3T_1}=21$ л. Правильна відповідь Б.

9. Об'єм ідеального газу збільшили у 2 рази, а його абсолютну температуру — на 60 %. Визначте, як і на скільки відсотків змінився тиск газу.

А	Б	В	Г
Збільшився на 40 %	Збільшився на 20 %	Зменшився на 20 %	Зменшився на 40 %

Розв'язання. Скористаємося рівнянням Клапейрона $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$. За умовою $V_2=2V_1$, $T_2=1{,}6T_1$. Підставивши ці співвідношення у рівняння Клапейрона, отримаємо $p_2=0{,}8p_1$. Кінцевий тиск становить 80 % від початкового, тобто тиск зменшився на 20 %. Правильна відповідь В.

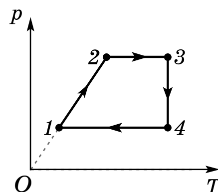
10. Компресор нагнітає повітря в балон ємністю $V_1=80$ л, захоплюючи за кожний цикл роботи об'єм повітря $V_2=1$ л. Початковий тиск у балоні дорівнює атмосферному тиску $p_а=100$ кПа. Який тиск p_N установиться в балоні після $N=80$ циклів роботи компресора? Вважайте, що температура повітря під час стискання не змінюється.

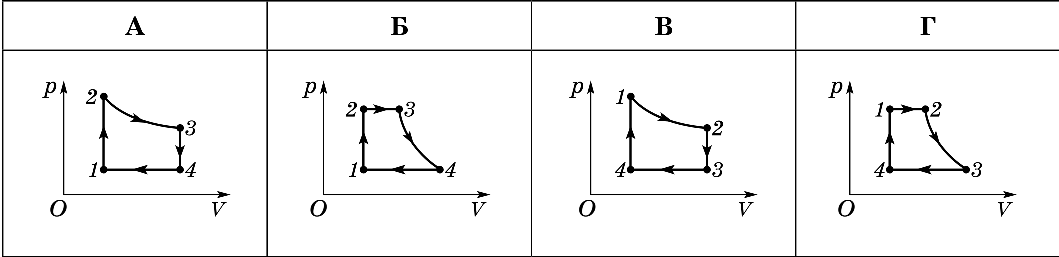
А	Б	В	Г
160 кПа	200 кПа	240 кПа	320 кПа

Розв'язання. Фактично відбулося ізотермічне стискання повітря від початкового об'єму V_1+NV_2 до кінцевого V_1. Запишемо закон Бойля — Маріотта: $p_а\left(V_1+NV_2\right)=p_NV_1$. Отже, $p_N=p_а\left(1+\frac{NV_2}{V_1}\right)=200$ кПа. Правильна відповідь Б.

(Зверніть увагу: послідовність значень тиску p_1, p_2, ..., p_N утворює арифметичну прогресію.)

11. На рисунку зображено в координатах *p*, *T* графік замкненого процесу, який відбувся з газом незмінної маси. Визначте, який вигляд має графік даного циклу в координатах *p*, *V*.





Розв'язання. Перш за все краще проаналізувати кожен етап процесу та записати характер зміни не тільки температури T та тиску p, а й об'єму V:

Етап 1–2: $T\uparrow$, $p\uparrow$ (прямо пропорційно T) $\Rightarrow$ $V = \text{const}$.

Етап 2–3: $T\uparrow$, $p = \text{const}$ $\Rightarrow$ $V\uparrow$ (прямо пропорційно T).

Етап 3–4: $T = \text{const}$, $p\downarrow$ $\Rightarrow$ $V\uparrow$ (обернено пропорційно p).

Етап 4–1: $T\downarrow$, $p = \text{const}$ $\Rightarrow$ $V\downarrow$ (прямо пропорційно T).

Тепер, користуючись цими записами, можна схематично накреслити графік циклу в координатах p, V. Правильна відповідь Б. (Зазначимо, що для вибору правильного графіка досить проаналізувати один-два етапи процесу. Наприклад, це може бути ізотермічний процес (етап 3–4): на графіках А, В, Г цю ділянку показано неправильно.)

12. На рис. 1 подано графік залежності об'єму V газу незмінної маси від абсолютної температури T. Визначте, в якому стані тиск p газу є найбільшим.

А	Б	В	Г
У стані 1	У стані 2	У стані 3	У стані 4

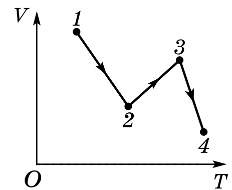


Рис. 1

Розв'язання. Для газу незмінної маси виконується рівняння Клапейрона $\frac{pV}{T} = \text{const}$. Позначивши A цю сталу, отримаємо $p = A\frac{T}{V}$. Відношення $\frac{V}{T}$ — це кутовий коефіцієнт прямої, яка проходить через початок координат і точку з координатами T, V. Отже, ***найбільший*** тиск відповідає ***найменшому*** значенню кутового коефіцієнта, тобто найменшому куту між прямою та віссю абсцис (рис. 2). Правильна відповідь Г.

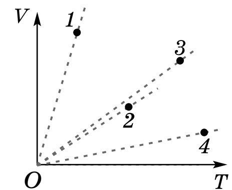
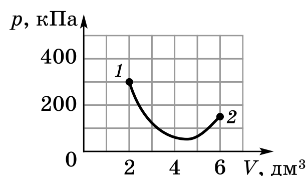


Рис. 2

13. На рисунку подано графік процесу з ідеальним газом незмінної маси. Визначте температуру T_2 газу в стані 2, якщо в стані 1 температура $T_1 = 400$ К.



А	Б	В	Г
270 К	300 К	450 К	600 К

Розв'язання. Характер газового процесу не має значення, нам треба тільки порівняти початковий і кінцевий стани газу. З рівняння Клапейрона $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ випливає, що $T_2 = T_1\frac{p_2V_2}{p_1V_1} = 600$ К. Правильна відповідь Г.

14. У газовій суміші присутні водень (його молярна маса $M_в = 0{,}002$ кг/моль) і кисень (його молярна маса $M_к = 0{,}032$ кг/моль). Порівняйте середні кінетичні енергії поступального руху молекул цих газів ($\overline{W}_в$ і $\overline{W}_к$) і середні квадратичні швидкості їх рухів ($\bar{v}_в$ і $\bar{v}_к$) .

А	Б	В	Г
$\overline{W}_в = 4\overline{W}_к$; $\bar{v}_в = 4\bar{v}_к$	$\overline{W}_в = \overline{W}_к$; $\bar{v}_в = 4\bar{v}_к$	$\overline{W}_в = 4\overline{W}_к$; $\bar{v}_в = \bar{v}_к$	$\overline{W}_в = \overline{W}_к$; $\bar{v}_в = \bar{v}_к$

Розв'язання. Зі співвідношення $\overline{W} = \frac{3}{2}kT$ між середньою кінетичною енергією поступального руху молекул і температурою випливає, що $\overline{W}$ за однакової температури є однаковою для всіх газів. Оскільки $\overline{W} = \frac{m_0\overline{v^2}}{2} = \frac{M\overline{v^2}}{2N_А}$ (тут m_0 і M — відповідно маса молекули та молярна маса), середня квадратична швидкість руху молекул $\bar{v} = \sqrt{\overline{v^2}}$ обернено пропорційна $\sqrt{M}$. Отже, правильна відповідь Б.

15. Невеликий герметично закритий балон з аргоном спочатку містився в морозильній камері (рис. 1), а потім його перенесли в розпечену сонцем теплицю (рис. 2). Визначте, у скільки разів збільшилися тиск аргону та середня квадратична швидкість руху його атомів.

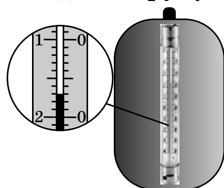


Рис. 1

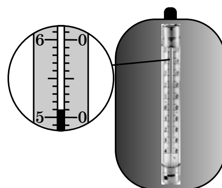


Рис. 2

А	Б	В	Г
У 1,266 разу; у 1,266 разу	У 1,266 разу; у 1,125 разу	У 3,000 разу; у 1,732 разу	У 1,732 разу; у 1,732 разу

Розв'язання. З рисунків бачимо, що при ізохорному нагріванні температура аргону за шкалою Цельсія піднялася від $t_1 = -17$ °C до $t_2 = 51$ °C (за шкалою Кельвіна від $T_1 = 256$ К до $T_2 = 324$ К). Для такого процесу тиск прямо пропорційний температурі: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$, звідки $\frac{p_2}{p_1} = \frac{81}{64} \approx 1{,}266$. Зі співвідношення між середньою кінетичною енергією частинок і температурою $\overline{W}_к = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2}kT$ випливає, що середня квадратична швидкість руху атомів Аргону $\bar{v}_{кв} = \sqrt{\overline{v^2}}$ прямо пропорційна $\sqrt{T}$. Отже, $\frac{\bar{v}_{кв2}}{\bar{v}_{кв1}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = \frac{9}{8} = 1{,}125$. Правильна відповідь Б. (Зазначимо: деякі неправильні відповіді досить легко можна «відсіяти» й без розрахунків. Наприклад, у відповідях А і Г обидва відношення однакові, що неможливо.)

16. Визначте температуру кисню (молярна маса кисню $M = 0{,}032$ кг/моль), якщо середня квадратична швидкість руху його молекул $\bar{v}_{кв} = 500$ м/с. Вважайте, що універсальна газова стала $R = 8{,}33 \frac{Дж}{моль \cdot К}$.

А	Б	В	Г
17 °C	27 °C	37 °C	47 °C

Розв'язання. Скористаємося співвідношенням між середньою кінетичною енергією поступального руху частинок і температурою: $\overline{W}_к = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2}kT$. З нього отримаємо $T = \frac{m_0 \overline{v^2}}{3k}$. Врахуємо, що $m_0 = \frac{M}{N_A}$, $k = \frac{R}{N_A}$ і $\overline{v^2} = \left(\bar{v}_{кв}\right)^2$. Тоді вираз для температури набуває вигляду $T = \frac{M\left(\bar{v}_{кв}\right)^2}{3R}$. Підставивши числові значення величин, отримаємо $T = 320$ К, що відповідає температурі за Цельсієм $t = 47$ °C. Правильна відповідь Г.

17. Визначте густину ρ газу, якщо його тиск $p = 80$ кПа, а середня квадратична швидкість руху його молекул $\bar{v}_{кв} = 500$ м/с.

А	Б	В	Г
0,96 кг/м^3	1,2 кг/м^3	1,44 кг/м^3	1,6 кг/м^3

Розв'язання. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів має вигляд $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$. Врахуємо, що добуток концентрації n молекул на масу m_0 молекули чисельно дорівнює масі всіх молекул в одиниці об'єму газу, тобто густині газу: $\rho = n m_0$. Звідси отримуємо $\rho = \frac{3p}{\overline{v^2}} = 0,96$ кг/м^3. Правильна відповідь А.

Другий рівень

1. Броунівська частинка масою 0,3 мкг міститься у воді. Порівняйте середні кінетичні енергії хаотичного поступального руху цієї частинки $\left(\overline{W}_1\right)$ та молекули води $\left(\overline{W}_2\right)$, якщо маса молекули води дорівнює $3 \cdot 10^{-26}$ кг.

А	Б	В	Г
$\overline{W}_1 = 10^{-8} \overline{W}_2$	$\overline{W}_1 = \overline{W}_2$	$\overline{W}_1 = 10^{8} \overline{W}_2$	$\overline{W}_1 = 10^{16} \overline{W}_2$

Розв'язання. Броунівську частинку можна розглядати як «велетенську молекулу»: її хаотичний рух відбувається за тими ж законами, що й рух молекул води. Отже, середня кінетична енергія поступального руху броунівської частинки теж визначається формулою $\overline{W}_к = \frac{3}{2} kT$, до якої взагалі не входить маса. Отже, $\overline{W}_1 = \overline{W}_2$. Правильна відповідь Б.

2. У закритому балоні міститься двоатомний газ. Унаслідок підвищення абсолютної температури в 2 рази кожна третя молекула газу розпалася. Визначте, у скільки разів збільшився тиск газу.

А	Б	В	Г
У 3,33 разу	У 2,67 разу	У 1,67 разу	У 1,33 разу

Розв'язання. Початковий тиск газу $p_0 = n_0 k T_0 = \frac{N_0}{V} k T_0$ (тут N_0 — початкова кількість молекул газу). Після нагрівання температура газу $T = 2T_0$. У балоні залишиться $\frac{2}{3} N_0$ двоатомних молекул і $2 \cdot \frac{1}{3} N_0$ атомів, які утворилися внаслідок

розпаду молекул. Загальна кількість окремих частинок у балоні $N = \frac{4N_0}{3}$. Кінцевий тиск газу в балоні $p = \frac{N}{V}kT = \frac{4N_0}{3V}k \cdot 2T_0 = \frac{8}{3}p_0$. Правильна відповідь Б.

3. Посередині запаяної з обох кінців горизонтальної трубки завдовжки $L = 75$ см міститься стовпчик ртуті завдовжки $l = 15$ см. Коли трубку поставили вертикально, стовпчик ртуті змістився на $h = 10$ см. Визначте (*у см рт. ст.*), яким був тиск p у горизонтально розташованій трубці. Температуру вважайте незмінною.

Розв'язання. Позначимо S площу поперечного перерізу трубки. Тоді об'єм газу в «нижній» частині трубки ізотермічно зменшується від $\frac{S(L-l)}{2}$ до $\frac{S(L-l)}{2} - Sh$. Відповідно до закону Бойля — Маріотта $p_н\left(\frac{S(L-l)}{2} - Sh\right) = p\frac{S(L-l)}{2}$ (тут $p_н$ — тиск у нижній частині вертикальної трубки). Аналогічно можна записати співвідношення $p_в\left(\frac{S(L-l)}{2} + Sh\right) = p\frac{S(L-l)}{2}$ для $p_в$ — тиску у верхній частині вертикальної трубки. Умова рівноваги стовпчика ртуті приводить до рівняння $p_н - p_в = \rho g l$, де ρ — густина ртуті. Виразивши $p_н$ і $p_в$ через p із попередніх рівнянь і підставивши ці вирази в умову рівноваги, отримаємо $p = \rho g l \frac{(L-l)^2 - 4h^2}{4h(L-l)}$. За наведених в умові даних $p = \rho g \cdot \frac{4}{3}l$. Отже, початковий тиск у трубці дорівнює тиску стовпчика ртуті висотою 20 см (20 см рт. ст.).

Відповідь: 20.

4. Два балони об'ємами $V_1 = 40$ л і $V_2 = 60$ л сполучені тонкою трубкою, яку перекрито краном. Тиск газу в балонах відповідно $p_1 = 500$ кПа і $p_2 = 800$ кПа. Визначте тиск p газу в балонах після відкривання крану, якщо температура газу не змінюється.

А	Б	В	Г
540 кПа	620 кПа	680 кПа	720 кПа

Розв'язання. Позначимо початкову кількість речовини в двох балонах відповідно ν_1 і ν_2. Тоді рівняння Менделєєва — Клапейрона для початкових станів газу в балонах і кінцевого стану суміші об'ємом $V_1 + V_2$ мають вигляд $p_1V_1 = \nu_1 RT$, $p_2V_2 = \nu_2 RT$ і $p(V_1 + V_2) = (\nu_1 + \nu_2)RT$. Звідси отримаємо $p(V_1 + V_2) = p_1V_1 + p_2V_2$ і $p = \frac{p_1V_1 + p_2V_2}{V_1 + V_2} = 680$ кПа. Правильна відповідь В.

5. У вертикальному циліндрі під рухомим поршнем площею $S = 40$ см^2 і масою $m = 4$ кг міститься $\nu = 1$ моль газу. Газ нагріли на $\Delta T = 11$ К. Визначте зміну об'єму ΔV газу. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; атмосферний тиск $p_а = 100$ кПа; універсальна газова стала $R = 8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

А	Б	В	Г
110 см^3	415 см^3	830 см^3	1660 см^3

Розв'язання. Газ перебуває під тиском, який створюють атмосфера та вага поршня: $p = p_а + \frac{mg}{S}$. Цей тиск не змінюється під час нагрівання. Запишемо рівняння Менделєєва — Клапейрона для початкового та кінцевого станів газу: $pV_1 = \nu RT_1$; $pV_2 = \nu RT_2$. Віднявши від другого рівняння перше, отримаємо $p\Delta V = \nu R\Delta T$. Звідси $\Delta V = \frac{\nu R\Delta T}{p} = 8{,}3\cdot 10^{-4}$ м^3. Правильна відповідь В.

6. Аеростат об'ємом $V = 600$ м^3 наповнений гелієм. Аеростат перебуває в рівновазі на висоті, де атмосферний тиск $p = 41{,}5$ кПа, а температура повітря $t = -23$ °С. Визначте загальну масу m оболонки аеростата й вантажу. Вважайте, що тиск всередині аеростата не відрізняється від зовнішнього; універсальна газова стала $R = 8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$. Молярна маса гелію $M_1 = 0{,}004$ кг/моль, середня молярна маса повітря $M_2 = 0{,}029$ кг/моль.

А	Б	В	Г
150 кг	300 кг	415 кг	500 кг

Розв'язання. З умови плавання аеростата в повітрі (сила Архімеда має зрівноважити загальну силу тяжіння, що діє на гелій, оболонку та вантаж) випливає співвідношення $m + m_1 = m_2$, де m_1 і m_2 — маси відповідно гелію та повітря в об'ємі V. Скористаємося двічі рівнянням Менделєєва — Клапейрона: $pV = \frac{m_1}{M_1}RT$, $pV = \frac{m_2}{M_2}RT$ (тут $T = 250$ К). Виразивши з останніх двох рівнянь m_1 і m_2, отримаємо $m = \frac{pV(M_2 - M_1)}{RT} = 300$ кг. Правильна відповідь Б.

7. З балона об'ємом $V_0 = 24$ л відкачують повітря поршневим повітряним насосом об'ємом $V_1 = 1$ л. Визначте тиск p_N у балоні після $N = 50$ циклів роботи насоса. Початковий тиск у балоні $p_0 = 100$ кПа. Температуру вважайте незмінною.

А	Б	В	Г
13 кПа	32 кПа	48 кПа	68 кПа



Таку задачу ми нещодавно розв'язували. Після першого циклу роботи насоса тиск зменшиться на одну двадцять п'яту. А далі після кожного циклу він зменшуватиметься на стільки ж (послідовні значення тиску утворять арифметичну прогресію). Тому вже після 25 циклів тиск зменшиться до нуля... Щось не так?

Коментар. Щось не так! Якби йшлося про *нагнітання* повітря, то насос кожного разу захоплював би *однакову* кількість молекул із атмосфери. А під час відкачування він кожного разу захоплює все меншу кількість молекул, бо повітря стає розрідженим. Розглянемо n-й цикл роботи насоса: під час ходу поршня в один бік об'єм повітря ізотермічно збільшується від V_0 до $V_0 + V_1$, при цьому тиск зменшується від p_{n-1} до p_n. За законом Бойля — Маріотта $p_{n-1}V_0 = p_n\left(V_0 + V_1\right)$. Під час зворотного ходу поршня закривається клапан, який відділяє повітря в балоні від повітря в насосі; повітря з насосу викидається в атмосферу, після чого відбувається наступний цикл. Зі співвідношення $p_n = p_{n-1}\frac{V_0}{V_0 + V_1}$ випливає, що значення p_1, p_2, ..., p_N утворюють *геометричну* прогресію і $p_N = p_0\left(\frac{V_0}{V_0 + V_1}\right)^N = 13$ кПа.

Правильна відповідь А.

8. У високогір'ї здійснили дослід: вертикальну трубку завдовжки 60 см закрили знизу, заповнили на дві третини ртуттю та закрили зверху. Після цього трубку відкрили знизу. У ній залишився стовп ртуті висотою 20 см. Визначте (*у см рт. ст.*) тиск p атмосфери в місці проведення досліду.

Розв'язання. Розглянемо, що відбулося з повітрям у верхній частині трубки. Спочатку воно займало частину трубки довжиною 20 см, а після витікання частини ртуті — частину трубки довжиною 40 см. Отже, це повітря зазнало ізотермічного збільшення об'єму в 2 рази. Тому кінцевий тиск цього повітря дорівнює $0{,}5p$. Отже, на рівні верхньої поверхні стовпа ртуті тиск дорівнює $0{,}5p$, а на рівні нижньої поверхні (на межі ртуті та атмосферного повітря) тиск дорівнює p. Різниця цих тисків $(0{,}5p)$ відповідає тиску стовпа ртуті висотою 20 см, тобто $0{,}5p = 20$ см рт. ст. Отже, $p = 40$ см рт. ст.

Відповідь: 40.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте, між якими речовинами дифузія за кімнатної температури відбувається найповільніше.

А	Б	В	Г
Вуглекислий газ і вода	Гас і гліцерин	Золото та свинець	Азот і вода

2. Щоб збільшити інтенсивність броунівського руху наскільки можливо, треба...

А	Б	В	Г
...збільшити температуру, збільшити розмір частинок	...збільшити температуру, зменшити розмір частинок	...зменшити температуру, збільшити розмір частинок	...зменшити температуру, зменшити розмір частинок

3. Балон містить $3 \cdot 10^{24}$ молекул газу. Визначте кількість речовини в балоні. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
0,2 моль	1,8 моль	5 моль	6 моль

4. Маса атома хімічного елемента дорівнює $2 \cdot 10^{-26}$ кг. Визначте, який це хімічний елемент. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
Карбон	Бор	Гелій	Гідроген

5. Визначте масу молекули води. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$, а молярна маса води становить 0,018 кг/моль.

А	Б	В	Г
$1{,}1 \cdot 10^{-26}$ кг	$3{,}0 \cdot 10^{-26}$ кг	$3{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг	$9{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг

6. Визначте кількість йонів у $1\ м^3$ рідкої ртуті, густина якої дорівнює $13\,600\ кг/м^3$. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6\cdot10^{23}$ $моль^{-1}$, а молярна маса Меркурію становить 0,2 кг/моль.

А	Б	В	Г
$1{,}4\cdot10^{28}$	$2{,}7\cdot10^{28}$	$3{,}6\cdot10^{28}$	$4{,}1\cdot10^{28}$

7. Температура тіла збільшилася від 17 до 47 °С. Визначте збільшення температури тіла за шкалою Кельвіна.

А	Б	В	Г
30 К	290 К	303 К	320 К

8. Визначте концентрацію молекул кисню, якщо температура цього газу дорівнює 27 °С, а тиск становить 8,4 МПа. Вважайте, що стала Больцмана дорівнює $1{,}4\cdot10^{-23}$ Дж/К.

А	Б	В	Г
$2\cdot10^{27}\ м^{-3}$	$2{,}8\cdot10^{27}\ м^{-3}$	$4{,}2\cdot10^{27}\ м^{-3}$	$8{,}4\cdot10^{27}\ м^{-3}$

9. Визначте кількість молекул газу в балоні ємністю 5 л за температури 250 К і тиску 700 кПа. Вважайте, що стала Больцмана дорівнює $1{,}4\cdot10^{-23}$ Дж/К.

А	Б	В	Г
10^{24}	10^{25}	10^{26}	10^{27}

10. Яке рівняння виражає закон Шарля для ізохорного процесу в ідеальному газі?

А	Б	В	Г
$pV = \mathrm{const}$	$\frac{V}{T} = \mathrm{const}$	$\frac{p}{V} = \mathrm{const}$	$\frac{p}{T} = \mathrm{const}$

11. Яке рівняння виражає закон Гей-Люссака для ізобарного процесу в ідеальному газі?

А	Б	В	Г
$p_1V_1 = p_2V_2$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$

12. Яке рівняння виражає закон Бойля — Маріотта для ізотермічного процесу в ідеальному газі?

А	**Б**	**В**	**Г**
$p_1V_1 = p_2V_2$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2}$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$

13. Коли температура в складському приміщенні дорівнює –13 °С, тиск стисненого повітря в балоні становить 5,2 МПа. Визначте, за якої температури виникне небезпека вибуху балона, якщо він витримує тиск газу до 6,4 МПа.

А	**Б**	**В**	**Г**
26 °С	47 °С	52 °С	64 °С

14. Поршневим насосом об'ємом 0,5 л нагнітають повітря в балон ємністю 30 л. Початковий тиск у балоні дорівнює атмосферному (100 кПа). Визначте тиск у балоні після 90 циклів роботи насоса. Вважайте, що температура повітря під час стискання не змінюється.

А	**Б**	**В**	**Г**
150 кПа	250 кПа	300 кПа	400 кПа

15. Початкова температура газу в циліндрі під поршнем дорівнює 7 °С, тиск газу становить 560 кПа, а об'єм — 5 л. Визначте, яким стане об'єм газу, якщо температуру збільшити до 67 °С, а тиск — до 850 кПа.

А	**Б**	**В**	**Г**
2 л	3 л	4 л	6 л

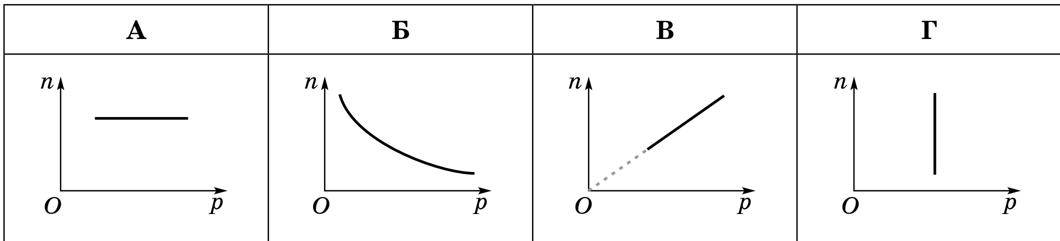
16. Газ міститься в циліндрі під поршнем. Коли масу поршня збільшили в 1,5 разу, об'єм газу зменшився на 20 %. Визначте, у скільки разів збільшилася середня кінетична енергія хаотичного поступального руху молекул. Атмосферний тиск не враховуйте.

А	**Б**	**В**	**Г**
У 1,2 разу	У 1,6 разу	У 2,0 разу	У 2,5 разу

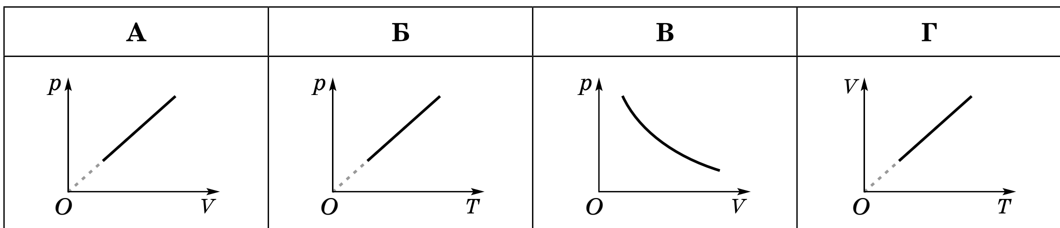
17. Балон містив 0,1 моль кисню та 0,2 моль водню. Унаслідок хімічної реакції $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ у балоні утворилася водяна пара, а абсолютна температура збільшилася вдвічі. Конденсації водяної пари не відбувалося. Визначте, як і в скільки разів змінився тиск у балоні.

А	Б	В	Г
Зменшився в $\frac{3}{2}$ разу	Зменшився в $\frac{4}{3}$ разу	Збільшився в $\frac{3}{2}$ разу	Збільшився в $\frac{4}{3}$ разу

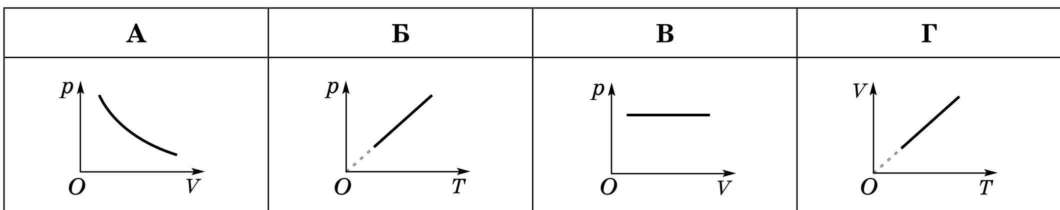
18. Визначте графік, який відображає залежність концентрації *n* молекул газу від тиску *p* під час ізотермічного процесу.



19. Визначте, який графік напевно НЕ відповідає ізопроцесу з ідеальним газом.



20. Визначте, який графік відповідає ізохорному процесу з ідеальним газом.



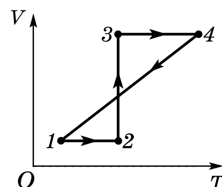
21. Визначте графік, що відповідає процесу з ідеальним газом, який описується рівнянням $\frac{p}{V} = \text{const}$, де p і V — відповідно тиск і об'єм газу.

А	Б	В	Г

22. У балоні зі стисненим повітрям тиск становить 7,5 МПа за температури –23 °C. Визначте, яким стане тиск у балоні після випускання третини повітря та збільшення температури до 27 °C.

А	Б	В	Г
2,5 МПа	3,0 МПа	5,0 МПа	6,0 МПа

23. На рисунку зображено в координатах *V*, *T* графік замкненого процесу, який відбувся з газом незмінної маси. Визначте, який вигляд має графік даного циклу в координатах *p*, *T*.



А	Б	В	Г

24. В атмосфері присутні молекули азоту (його молярна маса 0,028 кг/моль) та вуглекислого газу (його молярна маса 0,044 кг/моль). Порівняйте середні квадратичні швидкості $\bar{v}_{аз}$ і $\bar{v}_{вг}$ хаотичного руху молекул цих газів.

А	Б	В	Г
$\bar{v}_{аз} = \frac{7}{11}\bar{v}_{вг}$	$\bar{v}_{аз} = \bar{v}_{вг}$	$\bar{v}_{аз} = \sqrt{\frac{11}{7}}\bar{v}_{вг}$	$\bar{v}_{аз} = \frac{11}{7}\bar{v}_{вг}$

25. Броунівська частинка масою 0,3 мкг міститься у воді. Порівняйте середні квадратичні швидкості хаотичного руху цієї частинки $(\bar{v}_1)$ та молекули води $(\bar{v}_2)$, якщо маса молекули води становить $3 \cdot 10^{-26}$ кг.

А	Б	В	Г
$\bar{v}_1 = 10^{-16}\bar{v}_2$	$\bar{v}_1 = 10^{-8}\bar{v}_2$	$\bar{v}_1 = \bar{v}_2$	$\bar{v}_1 = 10^{8}\bar{v}_2$

26. Визначте температуру метану (його молярна маса 0,016 кг/моль), якщо середня квадратична швидкість руху його молекул дорівнює 600 м/с. Вважайте, що універсальна газова стала $R = 8\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

А	Б	В	Г
280 К	260 К	240 К	220 К

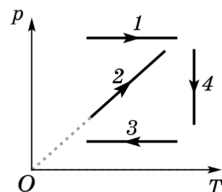
Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між фізичною величиною та математичним виразом (k — стала Больцмана; $N_А$ — стала Авогадро; N і n — відповідно кількість і концентрація молекул; M — молярна маса; m і V — відповідно маса та об’єм речовини; T — абсолютна температура).

1 Концентрація молекул
2 Маса молекули
3 Густина речовини
4 Тиск ідеального газу

А $\frac{3}{2}kT$
Б $\frac{M}{N_А}$
В nkT
Г $\frac{N}{V}$
Д $\frac{m}{V}$

28. Установіть відповідність між графіком (див. рисунок) і назвою процесу. Маса газу не змінюється; p — тиск газу, T — абсолютна температура газу.

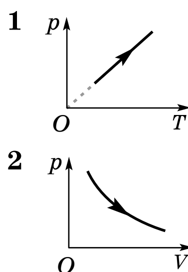


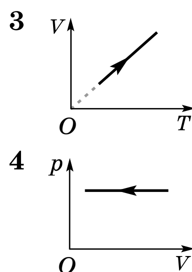
1 Графік 1	**А** Ізохорне нагрівання
2 Графік 2	**Б** Ізобарне стискання
3 Графік 3	**В** Ізобарне нагрівання
4 Графік 4	**Г** Ізохорне охолодження
	Д Ізотермічне розширення

29. Газ перебуває у вертикальному циліндрі під поршнем, який рухається без тертя. Установіть відповідність між умовами процесу та типом ізопроцесу.

1 Поршень закріплено, циліндр винесли на мороз	**А** Ізохорне нагрівання
2 Поршень не закріплено, газ нагрівають	**Б** Ізотермічне стискання
3 На незакріплений поршень дуже повільно сиплють пісок	**В** Ізохорне охолодження
4 Поршень не закріплено, циліндр винесли на мороз	**Г** Ізобарне стискання
	Д Ізобарне нагрівання

30. Установіть відповідність між графіком процесу та зміною значень фізичних величин (n — концентрація молекул; V — об'єм газу; T — абсолютна температура; p — тиск).





А $T = \text{const}$; V збільшується

Б $V = \text{const}$; T збільшується

В $T = \text{const}$; V зменшується

Г $p = \text{const}$; n збільшується

Д $p = \text{const}$; n зменшується

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте (*у мільярдах*) кількість молекул у краплі води об'ємом 18 мкм^3. Густина води дорівнює $1000\,\text{кг/м}^3$, молярна маса води — 0,018 кг/моль. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

32. У басейн площею $750\,\text{м}^2$ і глибиною 2 м потрапила дрібка солі NaCl масою 0,58 мг. Визначте (*у мільярдах*) кількість йонів Натрію в $1\,\text{см}^3$ води через тривалий час. Вважайте, що стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль^{-1}; молярна маса солі становить 0,058 кг/моль.

33. Об'єм бульбашки повітря, яка спливла зі дна водойми до поверхні, збільшився у 3,5 разу. Визначте (*у метрах*) глибину водойми. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; атмосферний тиск дорівнює 100 кПа; густина води — $1000\,\text{кг/м}^3$.

34. Визначте (*у кг/м³*) густину метану (його молярна маса дорівнює 0,016 кг/моль) за температури 47 °C і тиску 83 кПа. Універсальна газова стала дорівнює $8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

35. Ідеальний газ спочатку ізохорно нагріли, збільшивши його абсолютну температуру у 2,5 разу, а потім ізотермічно збільшили об'єм у 2 рази. Визначте, у скільки разів збільшився тиск ідеального газу.

36. Відкриту з обох кінців вертикальну трубку завдовжки 1 м наполовину занурили у ртуть. Після цього верхній кінець трубки закрили та вийняли трубку зі ртуті. Визначте (*у сантиметрах*) висоту стовпа ртуті, який залишився в трубці, якщо атмосферний тиск становить 75 см рт. ст.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | | 2, | | | |

чи такий: | | | | 2, 0 | | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | | 2, 5 | | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | | – | 2, 0 | 5 | |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | | |

чи такий: | | | 2, | | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	____, ___	33	____, ___	35	____, ___
32	____, ___	34	____, ___	36	____, ___

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	____, ___	33	____, ___	35	____, ___
32	____, ___	34	____, ___	36	____, ___

Розділ 6. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

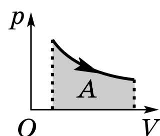
Що треба згадати

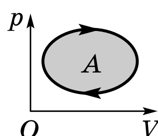
- **Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу:** $U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$, де m і M — відповідно маса та молярна маса газу; R — універсальна газова стала; T — абсолютна температура газу.

- **Кількість теплоти:** $Q = cm\Delta t$, $Q = \pm\lambda m$, $Q = \pm Lm$, $Q = qm$, де c — питома теплоємність; m — маса речовини; Δt — зміна температури; λ — питома теплота плавлення; L — питома теплота пароутворення; q — питома теплота згоряння. Знак «+» вибирають, коли тепло поглинається (зокрема, при плавленні та пароутворенні), знак «–» вибирають, коли тепло виділяється (зокрема, при кристалізації та конденсації).

- **Робота газу при ізобарному процесі:** $A = p\Delta V$ (робота зовнішніх сил $A' = -A$). Тут p — тиск газу; ΔV — зміна об'єму газу.

- **Графічне визначення роботи газу** (тільки за графіком у координатах p, V):





- **Перший закон термодинаміки:** $\Delta U = Q + A' = Q - A$, де ΔU — зміна внутрішньої енергії тіла; Q — отримана тілом кількість теплоти; A' — робота зовнішніх сил; A — робота тіла (газу).

- **Рівняння теплового балансу:** $Q_1 + Q_2 + \ldots = 0$, де Q_1, Q_2, ... — кількості теплоти, отримані частинами 1, 2, ... замкненої системи під час теплопередачі.

- **ККД теплової машини:** $\eta = \frac{Q_{нагр} - Q_{хол}}{Q_{нагр}} \cdot 100\,\%$, де $Q_{нагр}$ — кількість теплоти, віддана нагрівником; $Q_{хол}$ — кількість теплоти, отримана холодильником.

- **ККД ідеальної теплової машини:** $\eta_{max} = \frac{T_{нагр} - T_{хол}}{T_{нагр}} \cdot 100\,\%$, де $T_{нагр}$ і $T_{хол}$ — абсолютна температура відповідно нагрівника та холодильника.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Визначте, внаслідок якого процесу змінюється внутрішня енергія градинки під час граду.

А	Б	В	Г
Градинка наближається до землі	Градинка нагрівається та починає танути	Градинка збільшує швидкість свого падіння	Градинку зносить сильним вітром

Розв'язання. Внутрішня енергія тіла складається з кінетичної енергії *хаотичного* руху молекул (яка залежить від температури) і потенціальної енергії взаємодії молекул *між собою* (яка залежить від стану речовини, тиску тощо). Зміна швидкості руху тіла як цілого або зміна відстані від тіла до поверхні Землі є причинами зміни *механічної*, а не внутрішньої енергії. Правильна відповідь Б.

2. Визначте, яку роботу A виконує розріджений вуглекислий газ (його молярна маса $M = 0{,}044$ кг/моль) масою $m = 88$ г під час ізобарного нагрівання на $\Delta T = 10$ К. Універсальна газова стала $R = 8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

А	Б	В	Г
83 Дж	166 Дж	332 Дж	880 Дж

Розв'язання. Робота газу під час ізобарного процесу $A = p\Delta V$. Скористаємося рівнянням Менделєєва — Клапейрона для початкового і кінцевого станів газу: відповідно $pV_1 = \frac{m}{M}RT_1$; $pV_2 = \frac{m}{M}RT_2$. Віднявши перше рівняння від другого, отримаємо $p\Delta V = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1)$, звідки $A = \frac{m}{M}R\Delta T = 166$ Дж. Правильна відповідь Б.

3. Визначте (*у кілоджоулях*) роботу A, що виконує газ під час процесу, графік якого подано на рис. 1.

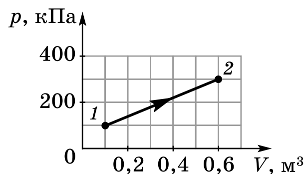


Рис. 1

Розв'язання. Формулу $A = p\Delta V$ можна застосовувати тільки для ізобарного процесу (або для *малої* ділянки іншого процесу). Проте для будь-якого процесу розширення газу робота дорівнює площі під графіком

цього процесу в координатах *p*, *V*. У даному випадку треба визначити площу виділеної на рис. 2 трапеції: $A = \frac{10^5 + 3 \cdot 10^5}{2} \cdot 0{,}5 = 10^5$ (Дж). Отже, $A = 100$ кДж.

Відповідь: 100.

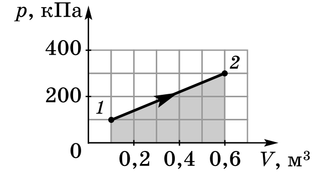


Рис. 2

4. Визначте (*у кілоджоулях*) роботу *A*, що виконує газ під час циклічного процесу, графік якого подано на рис. 3.

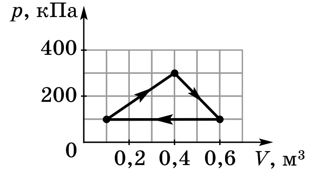


Рис. 3

Розв'язання. Подумки розіб'ємо циклічний процес на два етапи: розширення (рис. 4) і стискання (рис. 5). На першому етапі газ виконує додатну роботу A_+, на другому — від'ємну роботу A_-. За модулем ці роботи чисельно дорівнюють площам виділених на рис. 4 і 5 фігур. У циклічному процесі газ виконує додатну роботу: $A = A_+ + A_- = A_+ - |A_-|$. Ця робота чисельно дорівнює площі *всередині* графіка (рис. 6). Зазначимо, що $A > 0$, якщо в координатах *p*, *V* цикл відбувається за ходом годинникової стрілки. У даному випадку *A* чисельно дорівнює площі трикутника з основою $0{,}5\,\text{м}^3$ і висотою $2 \cdot 10^5$ Па, тобто становить $5 \cdot 10^4$ Дж, або 50 кДж.

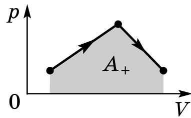


Рис. 4

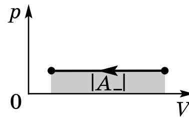


Рис. 5

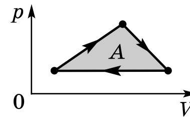


Рис. 6

Відповідь: 50.

5. На рис. 7 подано графік процесу з ідеальним газом. Визначте кількість теплоти *Q*, яку отримав газ при переході зі стану 1 у стан 2. Візьміть до уваги, що внутрішня енергія *U* газу залежить тільки від його температури.

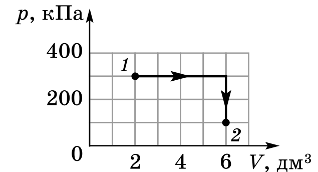


Рис. 7

А	Б	В	Г
1,2 кДж	2,4 кДж	3,6 кДж	7,2 кДж

Розв'язання. У всіх задачах такого типу доцільно починати із запису першого закону термодинаміки: $Q = \Delta U + A_г$, де $A_г$ — робота газу. Скористаємося тепер

підказкою в умові завдання та рівнянням Менделєєва — Клапейрона: $pV = \nu RT$. Із рис. 7 бачимо, що добуток тиску на об'єм у станах 1 і 2 є однаковим: $p_1V_1 = p_2V_2$. Отже, початкова та кінцева температури теж однакові. Тому $\Delta T = 0$ і $\Delta U = 0$. Перший закон термодинаміки набуває вигляду $Q = A_г$. Оскільки газ виконував роботу тільки під час ізобарного розширення, отримаємо $A_г = p_1\Delta V$. Кількість теплоти $Q = p_1(V_2 - V_1) = 1{,}2$ кДж. Правильна відповідь А. (Зазначимо, що роботу газу можна було визначити і графічним методом, — див. попередні задачі.)

6. Зазначте правильне твердження щодо адіабатного стискання ідеального газу.

А	Б	В	Г
Газ не отримує тепла, його внутрішня енергія зменшується	Газ не отримує тепла, його внутрішня енергія збільшується	Газ отримує тепло, його внутрішня енергія збільшується	Газ віддає тепло, його внутрішня енергія зменшується

Розв'язання. Будемо спиратися на перший закон термодинаміки, який запишемо у вигляді $\Delta U = Q - A_г$. За означенням адіабатний процес відбувається без теплопередачі, тобто $Q = 0$. Для малої ділянки будь-якого процесу робота газу $A_г = p\Delta V$. Отже, ця робота є додатною при розширенні газу (коли $\Delta V > 0$) і від'ємною при стисканні газу (коли $\Delta V < 0$). Для адіабатного стискання з першого закону термодинаміки отримуємо $\Delta U > 0$, тобто внутрішня енергія газу збільшується (для ідеального газу вона залежить тільки від температури, отже, газ нагрівається). Правильна відповідь Б.

7. Під час адіабатного розширення ідеальний одноатомний газ виконав роботу $A_г = 300$ Дж, при цьому зміна температури газу $\Delta T = -4$ К. Визначте кількість речовини ν в газі. Вважайте, що універсальна газова стала $R = 8{,}33 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

А	Б	В	Г
4 моль	6 моль	8 моль	9 моль

Розв'язання. Виконуючи роботу під час адіабатного розширення, газ втрачає внутрішню енергію та охолоджується. Зміна внутрішньої енергії $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$ від'ємна, за модулем вона дорівнює роботі газу $A_г$. Звідси $\nu = \frac{2A_г}{3R|\Delta T|} = 6$ моль. Правильна відповідь Б.

8. Визначте ККД теплової машини, робоче тіло якої передало холодильнику кількість теплоти $Q_х = 80$ кДж, виконавши роботу $A = 20$ кДж.

А	Б	В	Г
20 %	25 %	75 %	80 %

Розв'язання. ККД теплової машини $\eta = \frac{A}{Q_н} \cdot 100\,\%$. Із закону збереження енергії випливає, що кількість теплоти, яку робоче тіло отримало від нагрівника, $Q_н = A + Q_х = 100$ кДж. Отже, ККД теплової машини дорівнює 20 %. Правильна відповідь А.

9. Температура нагрівника ідеальної теплової машини $t_н = 477$ °C, а температура холодильника $t_х = 27$ °C. Машина виконала корисну роботу $A = 90$ кДж. Визначте кількість теплоти $Q_н$, яку отримало робоче тіло від нагрівника.

А	Б	В	Г
100 кДж	120 кДж	150 кДж	180 кДж

Розв'язання. ККД теплової машини $\eta = \frac{A}{Q_н} \cdot 100\,\%$, а для ідеальної теплової машини $\eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\,\%$. Оскільки $T_н = 750$ К і $T_х = 300$ К, отримаємо: $Q_н = A\frac{T_н}{T_н - T_х} = 150$ кДж. Правильна відповідь В.

10. Температура нагрівника ідеальної теплової машини $t_н = 477$ °C, а температура холодильника $t_х = 27$ °C. Визначте корисну роботу A, якщо холодильник отримав кількість теплоти $Q_х = 120$ кДж.

А	Б	В	Г
100 кДж	120 кДж	150 кДж	180 кДж

Розв'язання. ККД теплової машини $\eta = \frac{A}{Q_н} \cdot 100\,\% = \frac{Q_н - Q_х}{Q_н} \cdot 100\,\%$. Оскільки для ідеальної теплової машини $\eta = \frac{T_н - T_х}{T_н} \cdot 100\,\%$, отримаємо $Q_н = Q_х \frac{T_н}{T_х}$ і $A = Q_х \frac{T_н - T_х}{T_х} = 180$ кДж. Правильна відповідь Г.

11. На яхті встановлено двигун потужністю $P = 100$ кВт із ККД $\eta = 32\,\%$. Визначте відстань l, яку пройде яхта, витративши $m = 500$ кг пального з питомою теплотою згоряння $q = 40$ МДж/кг. Швидкість руху яхти $v = 18$ км/год.

А	Б	В	Г
160 км	240 км	320 км	480 км

Розв'язання. ККД двигуна $\eta = \dfrac{A}{Q} \cdot 100\,\%$, де робота $A = Pt = \dfrac{Pl}{v}$, а кількість теплоти, отримана при згорянні пального, $Q = qm$. Звідси $l = \dfrac{qmv\eta}{P \cdot 100\,\%} = 320$ км. Правильна відповідь В.

12. Калориметр містить лід масою $m = 2$ кг за температури $t_1 = -20$ °С. Визначте кількість теплоти Q, яку треба передати льоду, щоб перетворити його на воду з температурою $t_2 = 10$ °С. Питомі теплоємності льоду та води відповідно $c_л = 2{,}1\,\dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $c_в = 4{,}2\,\dfrac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; питома теплота плавлення льоду $\lambda = 331$ кДж/кг.

А	Б	В	Г
126 кДж	252 кДж	662 кДж	830 кДж

Розв'язання. Зазначене в умові перетворення складається з трьох етапів. Перший етап: лід нагрівається до температури плавлення $t_0 = 0$ °С, отримуючи кількість теплоти $Q_1 = c_л m(t_0 - t_1)$. Другий етап: лід тане, отримуючи кількість теплоти $Q_2 = \lambda m$ (при цьому його температура не змінюється). Третій етап: вода, яка виникла внаслідок танення, нагрівається від t_0 до t_2, отримуючи кількість теплоти $Q_3 = c_в m(t_2 - t_0)$. Отже, $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = c_л m(t_0 - t_1) + \lambda m + c_в m(t_2 - t_0) = 830$ кДж. Правильна відповідь Г.

13. Залізний циліндр масою $m_1 = 800$ г, нагрітий в окропі до температури $t_1 = 100$ °С, опустили в калориметр, який містив $m_2 = 400$ г води за температури $t_2 = 20$ °С. Визначте, яка температура t встановиться в калориметрі. Теплоємністю калориметра та теплообміном з навколишнім середовищем знехтуйте. Питомі теплоємності заліза та води відповідно $c_1 = 400\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $c_2 = 4200\,\dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

А	Б	В	Г
33 °С	44 °С	55 °С	66 °С

Розв'язання. Теплообмін відбувається між залізним циліндром і водою; рівняння теплового балансу можна записати у вигляді $Q_1 + Q_2 = 0$, де $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$ і $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$. Зазначимо, що $Q_1 < 0$, $Q_2 > 0$ (залізо віддає воді тепло). З рівняння теплового балансу отримаємо $t = \frac{c_1 m_1 t_1 + c_2 m_2 t_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} = 32{,}8\ °C$. Правильна відповідь А.

14. Для охолодження води масою $m_1 = 200$ г за температури $t_1 = 54\ °C$ у воду опускають лід, температура якого $t_2 = 0\ °C$. Визначте масу m_2 льоду, якщо кінцева температура води $t = 15\ °C$. Питома теплоємність води $c = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot К}$; вважайте, що питома теплота плавлення льоду $\lambda = 327$ кДж/кг. Теплообмін з навколишнім середовищем не враховуйте.

А	Б	В	Г
42 г	54 г	84 г	96 г

Розв'язання. Запишемо рівняння теплового балансу: $Q_1 + Q_2 = 0$. Вода тільки охолоджується, тому $Q_1 = cm_1 (t - t_1)$, ця кількість теплоти від'ємна. Лід же спочатку тане, а потім утворена вода нагрівається, тому $Q_2 = \lambda m_2 + cm_2 (t - t_2)$. З рівняння теплового балансу отримаємо $m_2 = m_1 \frac{c(t_1 - t)}{\lambda + c(t - t_2)} = 84$ г. Правильна відповідь В.

15. У калориметр, який містить $m_1 = 0{,}77$ кг води за температури $t_1 = 27\ °C$, впустили $m_2 = 30$ г водяної пари за температури $t_2 = 100\ °C$. Визначте, до якої температури t нагріється вода. Вважайте, що питома теплоємність води $c = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot К}$; питома теплота пароутворення $L = 2{,}24$ МДж/кг. Теплоємністю калориметра та теплообміном з навколишнім середовищем знехтуйте.

А	Б	В	Г
30 °C	50 °C	60 °C	70 °C

Розв'язання. Рівняння теплового балансу має вигляд $Q_в + Q_п = 0$, де $Q_в = cm_1 (t - t_1)$ — кількість теплоти, отримана водою під час нагрівання. Пара ж спочатку віддає тепло під час конденсації, а потім утворена вода остигає від температури t_2 до температури t. Отже, пара «отримує» кількість теплоти $Q_п = -Lm_2 + cm_2 (t - t_2) < 0$ (значення $Q_п$ від'ємне, тобто насправді пара *віддає* тепло). З рівняння теплового балансу отримаємо $t = \frac{Lm_2 + c(m_1 t_1 + m_2 t_2)}{c(m_1 + m_2)} = 50\ °C$. Правильна відповідь Б.

16. Легковий автомобіль масою $M = 800$ кг витрачає на 100 км шляху $m = 4$ кг пального з питомою теплотою згоряння $q = 40$ МДж/кг. Визначте висоту h, на яку можна підняти автомобіль, використавши всю енергію згоряння цього пального. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
4 км	8 км	20 км	80 км

Розв'язання. Теплота згоряння пального $Q = qm$, а потенціальна енергія піднятого автомобіля $W_п = Mgh$. Прирівнявши ці енергії, отримаємо $h = \frac{qm}{Mg} = 2 \cdot 10^4$ м. Правильна відповідь В.

17. Визначте ККД електричного чайника потужністю $P = 2{,}1$ кВт, якщо нагрівання в ньому $m = 1{,}5$ кг води від $t_1 = 40$ °C до $t_2 = 100$ °C триває $\tau = 3$ хв 20 с. Питома теплоємність води $c = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$.

А	Б	В	Г
75 %	80 %	85 %	90 %

Розв'язання. ККД нагрівника $\eta = \frac{Q}{P\tau} \cdot 100\,\%$. Тут $Q = cm(t_2 - t_1)$ — кількість теплоти, яку отримала вода. Звідси $\eta = 90\,\%$. Правильна відповідь Г.

18. Здавна гончарі виготовляли зі слабко обпаленої глини посудини, в яких вода навіть у спеку довго залишалася прохолодною. Яке фізичне явище спричиняє цей ефект?

А	Б	В	Г
Випромінювання тепла	Випаровування води	Теплопровідність у воді	Дифузія води крізь глину

Розв'язання. Слабко обпалена глина є пористою. Через це вода зсередини потроху просочується на поверхню стінок посудини та випаровується. Під час випаровування відбувається поглинання енергії, що спричиняє охолодження посудини з водою. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Коли взимку в кімнаті вимкнули опалення, температура швидко зменшилася від $t_1 = 27$ °C до $t_2 = 9$ °C. Визначте, чи змінилася внутрішня енергія U повітря в кімнаті, і якщо змінилася, то як і на скільки. Розглядайте повітря як одноатомний газ.

А	Б	В	Г
Зменшилася в 3 рази	Зменшилася на 12 %	Зменшилася на 6 %	Не змінилася



Здається, це проста задача на формулу внутрішньої енергії одноатомного газу: $U = \frac{3}{2}\nu RT$ (тут $\nu = \frac{m}{M}$ — кількість речовини в газі; R — універсальна газова стала). Як бачимо, внутрішня енергія U газу прямо пропорційна його абсолютній температурі, яка зменшилася від $T_1 = 300$ K до $T_2 = 282$ K, тобто на 6 %. Отже, внутрішня енергія повітря в кімнаті теж зменшилася на 6 %.

Коментар. ***Це неправильна відповідь!*** Наш герой потрапив у «пастку». Адже хто сказав, що кількість речовини в кімнаті залишається незмінною? Тиск повітря дійсно залишається незмінним (це атмосферний тиск), тому об'єм повітря зменшується внаслідок охолодження і в кімнату потрапляє *зовнішнє* повітря! Зрозуміло, що кімнату не можна закрити герметично (та це й не потрібно). Зміну ν легко врахувати, скориставшись рівнянням Менделєєва — Клапейрона $pV = \nu RT$. Оскільки обидві величини в лівій частині рівняння не залежать від температури, значення виразу νRT теж не змінюється зі зменшенням температури. Отже, як це не дивно, внутрішня енергія U повітря *в кімнаті* не змінилася після вимкнення опалення. Правильна відповідь Г. (Зазначимо: для двоатомного газу, яким можна вважати повітря, отриманий висновок не зміниться.)

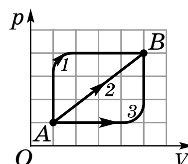
2. Визначте, яке твердження з поданих є правильним (Q — кількість теплоти, яку отримав газ; U — внутрішня енергія газу; T — температура газу; A — робота, виконана газом).

А	Б	В	Г
Якщо $Q > 0$ і $\Delta U < 0$, то обов'язково $A > 0$	Якщо $Q < 0$, то обов'язково $\Delta T < 0$	Якщо $Q > 0$ і $\Delta U > 0$, то обов'язково $A > 0$	Якщо $Q > 0$, то обов'язково $\Delta U > 0$

Розв'язання. Нагадаємо, що для газу внутрішня енергія прямо пропорційна температурі, тому ΔU і ΔT завжди мають однакові знаки. З першого закону

термодинаміки $Q = \Delta U + A$ випливає, що знаки Q і ΔU не обов'язково однакові: наприклад, при різкому стисканні повітря нагрівається, хоча й віддає тепло навколишньому середовищу. Правильна відповідь А.

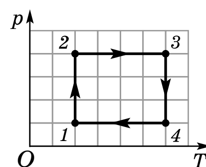
3. На рисунку подано графіки трьох процесів з 1 моль ідеального газу в координатах *p*, *V*. Визначте співвідношення кількостей теплоти (Q_1, Q_2, Q_3), що отримав газ під час цих процесів.



А	Б	В	Г
$Q_1 > Q_2 > Q_3$	$Q_2 > Q_1 > Q_3$	$Q_2 > Q_3 > Q_1$	$Q_3 > Q_2 > Q_1$

Розв'язання. Перш за все запишемо перший закон термодинаміки: $Q = \Delta U + A$. Зміна внутрішньої енергії ΔU газу для всіх процесів є однаковою, оскільки всі процеси починаються зі стану *A* та закінчуються станом *B*. Робота ж газу чисельно дорівнює площі під графіком у координатах *p*, *V*. Тому $A_1 > A_2 > A_3$. Отже, $Q_1 > Q_2 > Q_3$. Правильна відповідь А.

4. На рисунку подано графік циклічного процесу з ідеальним газом у координатах *p*, *T*. Визначте співвідношення модулів роботи *A* газу під час ізобарного розширення (ділянка 2–3) та ізобарного стискання (ділянка 4–1).



А	Б	В	Г
$\lvert A_{2-3} \rvert = 12 \lvert A_{4-1} \rvert$	$\lvert A_{2-3} \rvert = 4 \lvert A_{4-1} \rvert$	$\lvert A_{2-3} \rvert = 3 \lvert A_{4-1} \rvert$	$\lvert A_{2-3} \rvert = \lvert A_{4-1} \rvert$

Розв'язання. Найбільш поширена помилка — порівняння *площ* під ділянками графіка 2–3 і 4–1, адже робота чисельно дорівнює площі під графіком процесу *тільки* в координатах *p*, *V*. Зрозуміло, можна накреслити графік даного процесу в координатах *p*, *V* і порівняти відповідні площі. Проте краще скористатися формулою для роботи газу при ізобарному процесі $A = p\Delta V$ і рівнянням Менделєєва — Клапейрона $pV = \nu RT$. З них випливає, що $A = \nu R \Delta T$. Оскільки $\lvert \Delta T_{2-3} \rvert = \lvert \Delta T_{4-1} \rvert$, отримаємо $\lvert A_{2-3} \rvert = \lvert A_{4-1} \rvert$. Правильна відповідь Г.

5. Неон масою $m = 6$ г ізобарно нагрівають на $\Delta T = 60$ К. Визначте кількість теплоти *Q*, яку отримав газ. Вважайте, що молярна маса неону $M = 0{,}02$ кг/моль, а універсальна газова стала $R = 8{,}33 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

А	Б	В	Г
75 Дж	150 Дж	225 Дж	375 Дж

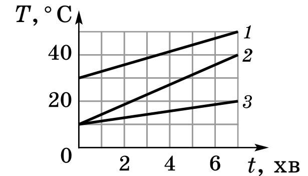
Розв'язання. Неон (інертний газ) є одноатомним газом. Отже, його внутрішня енергія $U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$, а $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T$. Слід узяти до уваги, що під час ізобарного нагрівання газ розширюється та виконує роботу $A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T$ (див. попередню задачу). За першим законом термодинаміки $Q = \Delta U + A = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T = 375$ Дж. Правильна відповідь Г.

6. Одноатомний ідеальний газ під час ізобарного нагрівання отримав кількість теплоти Q. Визначте збільшення внутрішньої енергії ΔU газу.

А	Б	В	Г
$0{,}4Q$	$0{,}6Q$	Q	$1{,}5Q$

Розв'язання. Як показано в попередній задачі, кількість теплоти $Q = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T$, а зміна внутрішньої енергії $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R\Delta T$. Звідси $\Delta U = 0{,}6Q$. Правильна відповідь Б.

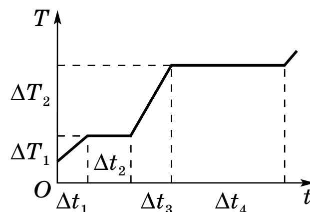
7. Трьом тілам однакової маси передають щосекунди однакову кількість теплоти. На рисунку для кожного з цих тіл подано графік залежності температури T тіла від часу t. Визначте співвідношення між питомими теплоємностями c_1, c_2, c_3 даних тіл.



А	Б	В	Г
$c_1 < c_2 < c_3$	$c_2 < c_1 < c_3$	$c_1 < c_3 < c_2$	$c_3 < c_1 < c_2$

Розв'язання. Питома теплоємність $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$. За умовою всі тіла мають однакову масу m та отримують за однаковий час однакову кількість теплоти Q. Отже, питома теплоємність тим *більша*, чим *менша* зміна температури ΔT тіла за час досліду. Для порівняння змін температур тіл навіть не треба враховувати масштаб на рисунку: достатньо помітити, що ΔT_3 відповідає одній клітинці, ΔT_1 — двом, ΔT_2 — трьом. Отримуємо $\Delta T_3 < \Delta T_1 < \Delta T_2$ і $c_2 < c_1 < c_3$. Правильна відповідь Б.

8. У калориметрі з льодом масою m вмикають нагрівник постійної потужності P. На рисунку подано графік залежності температури T в калориметрі від часу t. Визначте, який вираз відповідає значенню питомої теплоти пароутворення L води за результатами цього досліду.



А	Б	В	Г
$\frac{P\Delta t_1}{m\Delta T_1}$	$\frac{P\Delta t_2}{m\Delta T_2}$	$\frac{P\Delta t_3}{m\Delta T_2}$	$\frac{P\Delta t_4}{m}$

Розв'язання. Ділянки графіка відповідають послідовно нагріванню льоду, плавленню льоду, нагріванню води, кипінню води та нагріванню пари. Очевидно, що нас цікавить процес кипіння (на графіку його характеризує тільки значення Δt_4, тому вирази *А–В*, що містять інші значення, взяті з графіка, явно неправильні). Проте перевіримо й відповідь Г. Під час кипіння вода отримала кількість теплоти $Q = P\Delta t_4$. Оскільки при пароутворенні поглинається енергія $Q = Lm$, отримаємо $L = \frac{P\Delta t_4}{m}$. Правильна відповідь Г.

9. Металева посудина масою $m_1 = 900$ г містить $m_2 = 800$ г води. Температура посудини з водою $t_{1-2} = 24$ °С. У посудину помістили лід, температура якого $t_3 = 0$ °С. Після встановлення теплової рівноваги отримали температуру в посудині $t = 10$ °С. Визначте (*у кілограмах*) масу m_3 льоду. Теплообмін з навколишнім середовищем не враховуйте. Питомі теплоємності металу, з якого виготовлена посудина, та води відповідно $c_1 = 400\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ і $c_2 = 4200\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; питома теплота плавлення льоду $\lambda = 330$ кДж/кг.

Розв'язання. Оскільки це задача на теплопередачу, запишемо рівняння теплового балансу, тобто окремий випадок закону збереження енергії. У теплопередачі беруть участь три тіла, тому $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$. Посудина та вода тільки охолоджуються, тому $Q_1 = c_1m_1(t - t_{1-2})$, $Q_2 = c_2m_2(t - t_{1-2})$ (зрозуміло, що Q_1 і Q_2 від'ємні, бо посудина та вода *віддають* енергію). Лід спочатку тане (перетворюється на воду), а потім утворена вода нагрівається, тому $Q_3 = \lambda m_3 + c_2m_3(t - t_3)$. З рівняння теплового балансу отримаємо $m_3 = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(t_{1-2} - t)}{\lambda + c_2(t - t_3)} = 0{,}14$ кг.

Відповідь: 0,14.

10. Щоб охолодити воду масою $m_1 = 200$ г за температури $t_1 = 40$ °C, у воду опускають лід масою $m_2 = 150$ г за температури $t_2 = 0$ °C. Визначте кінцеву температуру t води. Питома теплоємність води $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, питома теплота плавлення льоду $\lambda = 330$ кДж/кг. Теплообмін з навколишнім середовищем не враховуйте.

А	Б	В	Г
0 °C	10 °C	20 °C	30 °C



Це, схоже, стандартна задача. Запишемо рівняння теплового балансу: $Q_1 + Q_2 = 0$. Вода тільки охолоджується, тому $Q_1 = cm_1(t - t_1)$; дана кількість теплоти від'ємна. Лід же спочатку тане, а потім утворена вода нагрівається, тому $Q_2 = \lambda m_2 + cm_2(t - t_2)$. З рівняння теплового балансу тоді отримуємо $t = \frac{c(m_1 t_1 + m_2 t_2) - \lambda m_2}{c(m_1 + m_2)}$. Залишається тільки підставити числові значення. Отримуємо... –11 °C?! Але ж температура не може бути нижчою від температури льоду! Тут, здається, є якась «пастка»...

Коментар. Звісно, «пастка» таки є (її слід бачити в задачах з невизначеним кінцевим станом речовини). Чи можна, не подивившись уважно на умову, бути таким впевненим, що весь лід розтане? Проведемо простий підрахунок: вода, остигаючи навіть до 0 °C, віддасть кількість теплоти cm_1t_1, тобто 33,6 кДж. А щоб розплавити *весь* лід, потрібна кількість теплоти λm_2, тобто 49,5 кДж. Отже, коли вода охолодиться до температури 0 °C і наступить теплова рівновага, розтане тільки частина льоду. Кінцева температура 0 °C. Правильна відповідь А.

11. Дві кулі масами m і $2m$ рухаються назустріч одна одній. Модулі швидкостей руху куль дорівнюють відповідно v і $2v$. Визначте зміну температури куль Δt після абсолютно непружного зіткнення. Теплообмін з навколишнім середовищем не враховуйте. Питома теплоємність матеріалу, з якого виготовлені кулі, дорівнює c.

А	Б	В	Г
$\frac{v^2}{2c}$	$\frac{v^2}{c}$	$\frac{3v^2}{c}$	$\frac{cv^2}{6}$

Розв'язання. Очевидно, що кулі після зіткнення рухатимуться в напрямку початкового руху більшої з них. Модуль u швидкості їх руху можна знайти,

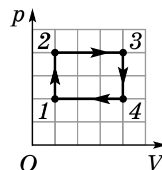
скориставшись законом збереження імпульсу: $u=\frac{2m\cdot 2v-mv}{2m+m}=v$. Кінетична енергія куль після зіткнення дорівнює $\frac{3m\cdot v^2}{2}$, а збільшення внутрішньої енергії куль $c\cdot 3m\cdot \Delta t$. Тому закон збереження енергії в механічних і теплових процесах можна записати у вигляді $\frac{mv^2}{2}+\frac{2m(2v)^2}{2}=\frac{3mv^2}{2}+3cm\Delta t$, звідки $\Delta t=\frac{v^2}{c}$. Правильна відповідь Б.

12. Протягом $\tau_1=3$ хв воду нагріли за допомогою електричного нагрівника від $t_1=70$ °С до $t_2=100$ °С. Оскільки нагрівник вимкнули не відразу, 10 % води випкіпіло. Визначте загальний час τ роботи нагрівника. Вважайте, що питома теплоємність води $c=4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; питома теплота пароутворення $L=2{,}1$ МДж/кг. Теплообміном з навколишнім середовищем знехтуйте.

А	Б	В	Г
6 хв	7 хв	8 хв	9 хв

Розв'язання. Позначимо P потужність нагрівника (очевидно, що вона не змінюється). Тоді $P\tau_1=cm(t_2-t_1)$, $P(\tau-\tau_1)=L\cdot 0{,}1m$. Звідси отримуємо $\tau=$ $=\tau_1\left(1+\frac{0{,}1L}{c(t_2-t_1)}\right)=8$ хв. Правильна відповідь В.

13. Визначте *(у відсотках)* ККД циклу з ідеальним одноатомним газом, графік якого подано на рисунку. Відповідь округліть до цілого числа.



Розв'язання. Позначимо ширину та висоту однієї клітинки відповідно V_0 і p_0. ККД циклу $\eta=\frac{A}{Q_н}\cdot 100\,\%$. Робота A за цикл чисельно дорівнює площі прямокутника 1234: $A=6p_0V_0$. Газ отримує тепло від нагрівника на етапах 1–2 і 2–3: $Q_н=Q_{1-2}+Q_{2-3}$. Для ізохорного нагрівання $Q_{1-2}=\frac{3}{2}\nu R(T_2-T_1)=\frac{3}{2}(p_2V_2-p_1V_1)=$ $=3p_0V_0$; для ізобарного нагрівання $Q_{2-3}=\frac{5}{2}\nu R(T_3-T_2)=$ $=\frac{5}{2}(p_3V_3-p_2V_2)=30p_0V_0$. Звідси $\eta=\frac{6}{33}\cdot 100\ \%\approx 18\ \%$.

Відповідь: 18.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте внутрішню енергію гелію масою 8 г, якщо температура газу дорівнює 27 °С. Вважайте, що універсальна газова стала дорівнює $8{,}33\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$; молярна маса гелію — 0,004 кг/моль.

А	Б	В	Г
1,5 кДж	2,5 кДж	5,0 кДж	7,5 кДж

2. Коли об'єм одноатомного ідеального газу зменшили у 2,5 разу, тиск газу збільшився в 3 рази. Визначте, як і в скільки разів змінилася внутрішня енергія газу.

А	Б	В	Г
Зменшилася в 7,5 разу	Зменшилася в 1,2 разу	Збільшилася в 1,2 разу	Збільшилася в 7,5 разу

3. Під час ізобарного розширення об'єм повітря під поршнем збільшився від 3 до 4 дм^3. Визначте виконану повітрям роботу, якщо тиск під поршнем становив 120 кПа.

А	Б	В	Г
120 Дж	360 Дж	480 Дж	840 Дж

4. Визначте процес, під час якого газ НЕ виконує роботу.

А	Б	В	Г
Ізотермічний	Ізобарний	Ізохорний	Адіабатний

5. Під час якого процесу внутрішня енергія одноатомного ідеального газу зменшується?

А	Б	В	Г
Ізотермічне стискання	Адіабатне розширення	Ізохорне нагрівання	Ізобарне розширення

6. Визначте роботу A, яку виконує розріджений кисень масою 96 г під час ізобарного нагрівання на 20 К. Молярна маса кисню становить 0,032 кг/моль; універсальна газова стала дорівнює $8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

А	Б	В	Г
166 Дж	332 Дж	498 Дж	664 Дж

7. За поданим на рис. 1 графіком визначте, яку роботу виконав газ.

А	Б	В	Г
40 кДж	80 кДж	130 кДж	150 кДж

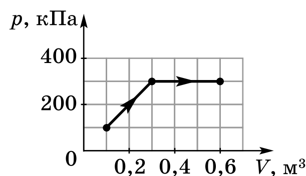


Рис. 1

8. За поданим на рис. 2 графіком визначте, яку роботу виконав газ у циклічному процесі.

А	Б	В	Г
50 кДж	70 кДж	120 кДж	150 кДж

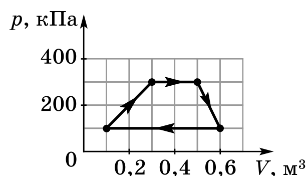


Рис. 2

9. Під час циклічного процесу, графік якого поданий на рис. 3, газ виконав роботу 140 кДж. Визначте роботу газу під час ізобарного розширення.

А	Б	В	Г
80 кДж	100 кДж	120 кДж	140 кДж

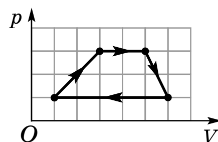


Рис. 3

10. Під час ізохорного нагрівання одноатомний ідеальний газ отримав кількість теплоти 150 кДж. Визначте зміну внутрішньої енергії цього газу.

А	Б	В	Г
60 кДж	90 кДж	150 кДж	250 кДж

11. Під час ізобарного нагрівання одноатомний ідеальний газ отримав кількість теплоти 150 кДж. Визначте зміну внутрішньої енергії цього газу.

А	Б	В	Г
60 кДж	90 кДж	150 кДж	250 кДж

12. Визначте, в яких випадках із зазначених тіло отримує тепло, не змінюючи температури: 1 — газ ізотермічно розширюється; 2 — кристал плавиться; 3 — вода кипить у відкритій посудині.

А	Б	В	Г
Тільки в 1	Тільки в 2	Тільки в 1 і 2	У 1, 2 і 3

13. Теплова машина протягом одного циклу виконала роботу 60 Дж і віддала холодильнику кількість теплоти 140 Дж. Визначте ККД теплової машини.

А	Б	В	Г
30 %	43 %	57 %	70 %

14. ККД теплової машини дорівнює 25 %. Машина виконала роботу 24 кДж. Визначте кількість теплоти, переданої холодильнику.

А	Б	В	Г
6 кДж	8 кДж	72 кДж	96 кДж

15. Визначте ККД ідеальної теплової машини з температурою нагрівника 377 °С і температурою холодильника –13 °С.

А	Б	В	Г
40 %	50 %	60 %	70 %

16. Температура нагрівника ідеальної теплової машини дорівнює 327 °С, температура холодильника становить –23 °С. Машина виконала корисну роботу 350 кДж. Визначте кількість теплоти, яку отримало робоче тіло від нагрівника.

А	Б	В	Г
600 кДж	350 кДж	250 кДж	100 кДж

17. Температура нагрівника ідеальної теплової машини дорівнює 657 °С, температура холодильника становить 37 °С. Визначте виконану машиною корисну роботу, якщо холодильник отримав кількість теплоти 450 кДж.

А	Б	В	Г
300 кДж	450 кДж	900 кДж	1,8 МДж

18. Потужність двигуна автомобіля дорівнює 60 кВт, його ККД становить 30 %. Визначте відстань, яку пройде автомобіль, витративши 20 кг пального з питомою теплотою згоряння 40 МДж/кг. Швидкість руху автомобіля дорівнює 72 км/год.

А	Б	В	Г
80 км	160 км	240 км	320 км

19. Металеву деталь масою 1 кг, нагріту до температури 80 °С, опустили у воду масою 1 кг за температури 25 °С. Визначте, яка температура встановиться, якщо теплообміном з навколишнім середовищем можна знехтувати. Питомі теплоємності металу та води дорівнюють відповідно 800 і $4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

А	Б	В	Г
29,4 °С	33,8 °С	37,2 °С	43,5 °С

20. Визначте, з якої висоти має падати крапля води, щоб після удару об землю ця вода нагрілася на 2 °С. Передачу енергії навколишньому середовищу не враховуйте. Вважайте, що $g=10$ м/с^2; питома теплоємність води дорівнює $4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

А	Б	В	Г
210 м	420 м	840 м	960 м

21. Визначте зміну внутрішньої енергії 2 кг льоду внаслідок його танення за температури плавлення. Питома теплота плавлення льоду становить 330 кДж/кг.

А	Б	В	Г
165 кДж	330 кДж	660 кДж	990 кДж

22. Визначте, яку кількість теплоти треба передати льоду масою 1 кг за температури –10 °С, щоб він перетворився на воду з температурою 15 °С. Питомі теплоємності льоду та води дорівнюють відповідно 2,1 і $4{,}2\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; питома теплота плавлення льоду становить 330 кДж/кг.

А	Б	В	Г
52 кДж	105 кДж	414 кДж	435 кДж

23. Мідний калориметр масою 200 г містить 500 г води. Температура в калориметрі дорівнює 50 °С. Визначте, скільки водяної пари за температури 100 °С треба впустити в калориметр, щоб температура води збільшилася до 100 °С. Теплоємністю калориметра та теплообміном з навколишнім середовищем знехтуйте. Вважайте, що питомі теплоємності міді та води дорівнюють відповідно 400 і $4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$; питома теплота пароутворення води становить 2,18 МДж/кг.

А	Б	В	Г
2 г	5 г	20 г	50 г

24. У калориметр, який містить 0,45 кг води за температури 10 °С, впустили 50 г водяної пари за температури 100 °С. Визначте, яка температура встановиться в калориметрі. Вважайте, що питома теплоємність води дорівнює $4200 \frac{Дж}{кг \cdot К}$; питома теплота пароутворення становить 2,1 МДж/кг. Теплоємністю калориметра та теплообміном з навколишнім середовищем знехтуйте.

А	Б	В	Г
19 °С	30 °С	50 °С	69 °С

25. Визначте, що із зазначеного має найкращі теплоізоляційні властивості.

А	Б	В	Г
Металеві ошурки	Суцільний метал	Деревна тирса	Суцільна деревина

26. Масивна куля, що має температуру кількасот градусів, розташована в розрідженому повітрі. Визначте, якою має бути поверхня кулі, щоб куля остигала якнайповільніше.

А	Б	В	Г
Дзеркальна	Темна полірована	Світло-сіра шорстка	Темна шорстка

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між процесом з ідеальним газом і термодинамічними величинами (Q — кількість теплоти, отримана газом; ΔU — зміна внутрішньої енергії газу, $A_г$ — робота газу).

1 Ізохорне нагрівання
2 Ізотермічне стискання
3 Адіабатне розширення
4 Ізобарне розширення

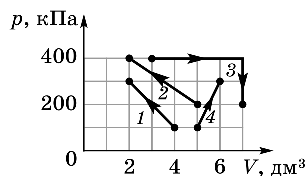
А $Q = 0,\ \Delta U < 0,\ A_г > 0$
Б $Q > 0,\ \Delta U > 0,\ A_г = 0$
В $Q > 0,\ \Delta U > 0,\ A_г > 0$
Г $Q > 0,\ \Delta U > 0,\ A_г < 0$
Д $Q < 0,\ \Delta U = 0,\ A_г < 0$

28. Установіть відповідність між назвою фізичної величини та математичним виразом.

1 Питома теплоємність речовини
2 ККД теплової машини
3 Питома теплота плавлення кристалічної речовини
4 Зміна внутрішньої енергії газу

А $1 - \dfrac{Q_х}{Q_н}$
Б $\dfrac{Q}{m}$
В $Q - A_г$
Г $\dfrac{Q}{m \cdot \Delta T}$
Д $Q + A_г$

29. Установіть відповідність між графіком процесу з одноатомним ідеальним газом (див. рисунок) і значенням фізичної величини або його зміною.



1 Графік 1
2 Графік 2
3 Графік 3
4 Графік 4

А Робота газу дорівнює 1,6 кДж
Б Робота газу дорівнює −800 Дж
В Внутрішня енергія газу зменшилася на 20 %
Г Робота газу дорівнює 200 Дж
Д Внутрішня енергія газу збільшилася в 1,5 разу

30. Установіть відповідність між процесом зміни температури тіла та головним способом зміни внутрішньої енергії.

1 Охолодження повітря, яке піднімається у верхні шари атмосфери
2 Нагрівання повітря над багаттям
3 Охолодження поверхні Місяця під час місячного затемнення
4 Нагрівання алюмінієвої кружки від гарячого чаю

А Теплопровідність
Б Випромінювання
В Виконання роботи
Г Конвекція
Д Виділення тепла при терті

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Балон ємністю 80 л містить ідеальний одноатомний газ. Унаслідок нагрівання тиск газу збільшився на 40 кПа. Визначте (*у кілоджоулях*) зміну внутрішньої енергії газу.

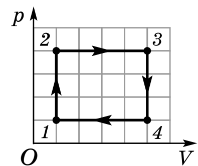
32. Один моль гелію ізохорно нагріли від 250 до 280 К, а потім ізобарно — до 382 К. Визначте (*у кілоджоулях*) кількість теплоти, яку отримав газ. Вважайте, що універсальна газова стала дорівнює $8{,}3\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$.

33. Щоб отримати 7 кг теплої води за температури 40 °С, змішали холодну воду за температури 15 °С і гарячу воду за температури 85 °С. Визначте (*у кілограмах*) масу холодної води, якщо теплообміном з навколишнім середовищем можна знехтувати.

34. Визначте (*у кілограмах*) масу пального з питомою теплотою згоряння 25 МДж/кг, яке треба спалити, щоб нагріти воду масою 1 кг від 60 до 100 °С і 10 % води випарити. ККД нагрівника дорівнює 50 %; питома теплоємність води становить $4200\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; питома теплота пароутворення дорівнює 2,32 МДж/кг.

35. Дві однакові свинцеві кулі, що рухалися вздовж однієї прямої в один бік зі швидкостями 18 і 36 м/с, зазнали абсолютно непружного зіткнення. Визначте (*у градусах Цельсія*), на скільки збільшилася температура куль. Теплообміном з навколишнім середовищем можна знехтувати. Вважайте, що питома теплоємність свинцю дорівнює $135\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

36. Визначте (*у відсотках*) ККД циклу з ідеальним одноатомним газом, графік якого подано на рисунку. Відповідь округліть до цілого числа.



БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | | 2, | | | |

чи такий: | | | | 2, 0 | | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | | 2, 5 | | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | | – | 2, 0 | 5 | |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | | |

чи такий: | | | 2, | | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	____ , ___	33	____ , ___	35	____ , ___	
32	____ , ___	34	____ , ___	36	____ , ___	

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	____ , ___	33	____ , ___	35	____ , ___	
32	____ , ___	34	____ , ___	36	____ , ___	

Розділ 7. ВЛАСТИВОСТІ ПАРИ, РІДИН І ТВЕРДИХ ТІЛ

Що треба згадати

- **Відносна вологість повітря:** $\varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100\,\% = \frac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\,\%$, де $p_н$ і $\rho_н$ — відповідно тиск і густина насиченої водяної пари за даної температури; p і ρ — відповідно тиск і густина водяної пари в повітрі.
- **Поверхнева енергія:** $W_п = \sigma S$, де σ — поверхневий натяг рідини; S — площа поверхні рідини.
- **Сила поверхневого натягу рідини:** $F_{пн} = \sigma l$, де l — довжина межі поверхні рідини.
- **Висота підіймання рідини в капілярі:** $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$, де ρ — густина рідини; r — радіус капіляра.
- **Відносне видовження (стержня або пружини):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, де $\Delta l = l - l_0$ — видовження тіла; l_0, l — довжина відповідно недеформованого та деформованого тіла.
- **Механічна напруга:** $\sigma = \frac{F}{S}$, де $\vec{F}$ — сила, яка діє уздовж осі стержня; S — площа поперечного перерізу стержня.
- **Закон Гука:** $\sigma = E|\varepsilon|$, де E — модуль пружності (модуль Юнга); ε — відносне видовження тіла.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Визначте, в якому випадку кількість молекул води, які щосекунди залишають рідину, дорівнює кількості молекул води, які щосекунди переходять з пари в рідину.

А	Б	В	Г
Мокра білизна сохне на балконі	Вода міститься в закритій пляшці на столі	У людини, яка входить до теплого приміщення з морозу, запотівають окуляри	Гарячий асфальт влітку полили водою

Розв'язання. Якщо кількість молекул, які залишають рідину, перевищує кількість молекул, які «повертаються», кількість рідини зменшується (рідина переходить у пару). Саме такими є випадки А і Г. Якщо реалізується «зворотна» ситуація, пара перетворюється на рідину. Саме таким є випадок В: пара охолоджується на поверхні холодного скла окулярів і конденсується. Якщо ж кількість молекул, які щосекунди залишають рідину, дорівнює кількості молекул, які щосекунди «повертаються», то існує динамічна рівновага між рідиною та парою — кількості рідини та пари не змінюються. У цьому випадку пару називають насиченою. У замкненій системі (наприклад, у закритій пляшці) за незмінних умов швидко встановлюється динамічна рівновага. Отже, правильна відповідь Б.

2. Виберіть правильне твердження щодо насиченої пари.

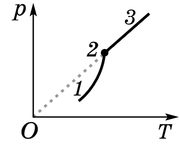
А	Б	В	Г
Тиск насиченої пари залежить від її температури та об'єму	Тиск насиченої пари залежить тільки від її об'єму	Тиск насиченої пари не залежить від її температури та об'єму	Тиск насиченої пари залежить тільки від її температури



Насичена пара — це зазвичай досить розріджений газ. Отже, можемо скористатися рівнянням стану ідеального газу (наприклад, рівнянням Клапейрона $\frac{pV}{T} = \text{const}$). З нього випливає, що тиск прямо пропорційний температурі та обернено пропорційний об'єму. Виходить, що правильна відповідь А.

Коментар. ***Це неправильно!*** Адже тут не все так просто! Рівняння Клапейрона застосовне *для незмінної маси* газу. А зміна стану насиченої пари супроводжується конденсацією або випаровуванням, тобто *зміною маси* пари. Будемо виходити з формули $p = nkT$, яка справджується і для таких процесів. Від чого залежить концентрація n молекул пари? У випадку «звичайного» газу концентрація $n = \frac{N}{V}$ залежить тільки від об'єму. А от для насиченої пари слід урахувати умови динамічної рівноваги пари з рідиною. Кількість молекул, які щосекунди вилітають з певної ділянки поверхні рідини, залежить *тільки* від інтенсивності теплового руху, тобто *від температури*. Якщо температура збільшилася, молекули вилітають частіше і концентрація пари збільшується, а з нею збільшується й кількість молекул, які щосекунди «повертаються» з пари на цю ділянку поверхні. Нова динамічна рівновага відповідає вже більшій концентрації молекул. Отже, концентрація молекул (а внаслідок цього й тиск) залежить *тільки* від температури пари. Зазначимо, що при збільшенні температури зростання тиску насиченої пари відбувається значно швидше, ніж за прямо пропорційної залежності. Правильна відповідь Г.

3. Речовину нагрівають у посудині з незмінною місткістю, досліджуючи залежність тиску p в посудині від абсолютної температури T. Визначте можливий вміст посудини на різних етапах (1, 2, 3) процесу (див. рисунок).



А	Б	В	Г
1 — насичена пара та рідка вода; 2 — насичена пара; 3 — ненасичена пара	1 — насичена пара; 2 — насичена пара та рідка вода; 3 — ненасичена пара	1 — ненасичена пара; 2 — насичена пара; 3 — насичена пара та рідка вода	1 — насичена пара; 2 — ненасичена пара; 3 — насичена пара та рідка вода

Розв'язання. Крива 1–2 на графіку відповідає залежності $p(T)$ для насиченої пари. Щоб пара під час нагрівання залишалася насиченою, її маса має збільшуватися. Для цього посудина має містити певну кількість рідкої води, яка переходить у пару при збільшенні температури. У точці 2 цей етап закінчується, тому що рідкої води в посудині вже немає — у цей момент посудина містить тільки насичену пару. Під час подальшого нагрівання концентрація молекул пари вже не збільшується — пара стала ненасиченою (тобто тепер для неї справджуються газові закони). Правильна відповідь А.

4. Визначте (*у відсотках*) відносну вологість φ повітря в приміщенні за температури 25 °С, якщо парціальний тиск водяної пари $p = 1{,}6$ кПа. Тиск насиченої водяної пари за даної температури $p_н = 3{,}2$ кПа.

Розв'язання. Відносна вологість повітря $\varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100\ \% = 50\ \%$.
Відповідь: 50.

5. Визначте (*у відсотках*) відносну вологість φ повітря в приміщенні за температури 24 °С, якщо густина водяної пари $\rho = 9{,}9$ г/м^3. Густина насиченої водяної пари за даної температури $\rho_н = 22$ г/м^3.

Розв'язання. За означенням відносна вологість повітря $\varphi = \frac{p}{p_н} \cdot 100\,\%$, де p — парціальний тиск водяної пари; $p_н$ — тиск насиченої водяної пари за тієї самої температури. Скориставшись рівнянням Менделєєва — Клапейрона для водяної пари, виразимо тиск пари через її густину: $p = \frac{\rho RT}{M}$, $p_н = \frac{\rho_н RT}{M}$. Тоді відносну вологість теж можна виразити через густину пари: $\varphi = \frac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\,\% = 45\,\%$.
Відповідь: 45.

6. Визначте відносну вологість повітря в приміщенні за температури $t_1 = 18\ °C$, якщо точка роси $t_2 = 14\ °C$. Скористайтесь наведеною таблицею.

Температура, °С	**Густина насиченої водяної пари, г/м³**
14 18	12 15

А	**Б**	**В**	**Г**
75 %	78 %	80 %	83 %

Розв'язання. Відносна вологість повітря $\varphi = \frac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\%$, де ρ — густина водяної пари в повітрі; $\rho_н$ — густина насиченої водяної пари за тієї самої температури. Якщо вважати приміщення герметичним, то під час охолодження до початку конденсації (випадання роси) густина водяної пари не змінюється. Оскільки пара стає насиченою за температури t_2, її густина *протягом усього процесу* дорівнює густині насиченої пари за цієї температури: $\rho = \rho_{н2}$. Отже, за температури t_1 відносна вологість повітря $\varphi_1 = \frac{\rho_{н2}}{\rho_{н1}} \cdot 100\ \% = 80\ \%$. Правильна відповідь В.

7. Відносна вологість повітря в приміщенні за температури $t_1 = 14\ °C$ дорівнювала $\varphi_1 = 60\%$. Визначте, якою стане відносна вологість повітря після підвищення температури до $t_2 = 18\ °C$. Скористайтесь таблицею, наведеною до завдання 6.

А	**Б**	**В**	**Г**
36 %	48 %	60 %	75 %

Розв'язання. Із формули відносної вологості повітря $\varphi = \frac{\rho}{\rho_н} \cdot 100\%$ отримуємо початкову густину водяної пари в повітрі: $\rho = \frac{\varphi_1 \rho_{н1}}{100\%}$. Якщо вважати приміщення герметичним, то під час нагрівання ця густина не змінюється. Отже, за температури t_2 вологість $\varphi_2 = \varphi_1 \frac{\rho_{н1}}{\rho_{н2}} = 48\%$. Правильна відповідь Б. (Зазначимо, що відповіді В і Г можна відкинути без розрахунків, адже нагрівання спричиняє *зменшення* відносної вологості повітря.)

8. Термометри психрометра показують 14 і 20 °C. Визначте відносну вологість φ повітря в приміщенні, скориставшись наведеною психрометричною таблицею.

Показ сухого термометра, °C	**Різниця показів сухого та вологого термометрів, °C**									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Відносна вологість, %									
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30

А	**Б**	**В**	**Г**
42 %	51 %	60 %	72 %

Розв'язання. Сухий термометр психрометра показує температуру повітря (у даному випадку це 20 °C). Вологий термометр постійно охолоджується внаслідок випаровування води з його поверхні. Це охолодження тим сильніше, чим швидше йде випаровування, тобто чим меншою є відносна вологість повітря. Тому зіставлення показів двох термометрів дає можливість визначити відносну вологість повітря. Скористаємося таблицею: значення φ відповідає рядку «20 °C» та стовпчику «6 °C», це 51 %. Правильна відповідь Б.

9. Визначте причину, з якої вода під час випаровування охолоджується.

А	**Б**	**В**	**Г**
Вода віддає енергію через високу теплопровідність пари	Зменшується маса води, а тому й внутрішня енергія	Вода віддає енергію через конвекцію	Воду «покидають» молекули з найбільшою кінетичною енергією

Розв'язання. Температура речовини визначається *середньою* кінетичною енергією хаотичного руху молекул. Тому зменшення внутрішньої енергії не завжди є причиною зменшення температури (наприклад, якщо вилити половину води зі склянки, то внутрішня енергія решти води зменшиться, а температура не зміниться). Під час випаровування подолати притягання сусідніх молекул і «відірватися» від поверхні води можуть тільки найшвидші молекули (з найбільшою кінетичною енергією). Втрата цих молекул спричиняє зменшення *середньої* кінетичної енергії молекул, тобто охолодження води. Правильна відповідь Г.

10. Визначте, за якої відносної вологості повітря і чому людина легше перенесе спеку.

А	Б	В	Г
30 % (завдяки повільному випаровуванню вологи з поверхні тіла)	30 % (завдяки швидкому випаровуванню вологи з поверхні тіла)	95 % (завдяки повільному випаровуванню вологи з поверхні тіла)	95 % (завдяки швидкому випаровуванню вологи з поверхні тіла)

Розв'язання. Людина легше переносить спеку, коли в неї добре працює природний механізм терморегуляції (підтримання температури тіла приблизно 37 °С). У людини цей механізм ґрунтується на охолодженні рідини під час випаровування (випаровується піт з поверхні шкіри). Чим швидше йде випаровування, тим помітніше й охолодження (краща терморегуляція). Випаровування ж відбувається тим швидше, чим менша відносна вологість повітря. Правильна відповідь Б.

11. Скориставшись наведеною таблицею, визначте температуру кипіння води в горах, де атмосферний тиск дорівнює 40 кПа.

Температура, °С	Тиск насиченої водяної пари, кПа
50	12
60	20
70	31
80	47
90	70

А	Б	В	Г
72 °С	76 °С	82 °С	86 °С

Розв'язання. Рідина закипає, коли тиск насиченої пари в бульбашках дорівнює зовнішньому тиску на ці бульбашки (зазвичай цей тиск практично дорівнює атмосферному). Отже, треба за допомогою таблиці хоча би приблизно визначити температуру, за якої тиск насиченої пари дорівнює 40 кПа. Правильна відповідь Б.

12. Визначте поверхневу енергію сферичної краплі дощу радіусом $r = 0{,}1$ мм. Вважайте, що $\pi = 3{,}1$; поверхневий натяг води $\sigma = 75$ мН/м.

А	Б	В	Г
3,1 нДж	4,7 нДж	6,2 нДж	9,3 нДж

Розв'язання. Поверхнева енергія прямо пропорційна площі S поверхні краплі: $W_п = \sigma S = \sigma \cdot 4\pi r^2 = 9,3 \cdot 10^{-9}$ Дж. Правильна відповідь Г.

13. На поверхні рідини розташована тонка жорстка горизонтальна дротинка завдовжки $l = 6$ см і масою $m = 0,4$ г. До її центра прикладають напрямлену вгору силу, яку потроху збільшують. Коли модуль сили $F = 10$ мН, дротинка відривається від поверхні рідини. Визначте поверхневий натяг σ рідини, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
20 мН/м	40 мН/м	50 мН/м	60 мН/м

Розв'язання. Перед самим відривом три сили, що діють на дротинку, взаємно компенсуються. Це — напрямлені вниз сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила поверхневого натягу $\vec{F}_{пн}$, а також напрямлена вгору сила $\vec{F}$. Оскільки межа «рідина — дротинка» існує по *обидва* боки дротинки, $F_{пн} = \sigma \cdot 2l$. З умови рівноваги $mg + F_{пн} = F$ отримуємо $\sigma = \frac{F - mg}{2l} = 5 \cdot 10^{-2}$ Н/м. Правильна відповідь В.

14. На поверхні рідини розташований квадрат з тонкого жорсткого дроту. Довжина сторони квадрата $b = 4$ см, маса дроту $m = 0,92$ г. Визначте модуль F вертикальної сили, яку треба прикласти до квадрата, щоб відірвати його від поверхні рідини. Поверхневий натяг рідини $\sigma = 40$ мН/м; вважайте, що $g = 10$ м/с^2, а квадрат весь час розташований горизонтально.

А	Б	В	Г
7 мН	9 мН	16 мН	22 мН

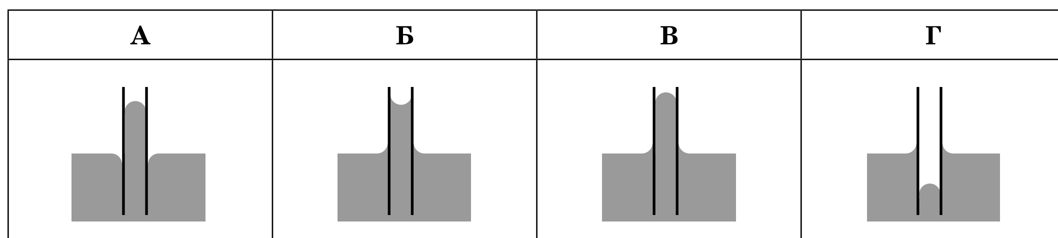
Розв'язання. Перед самим відривом сила $\vec{F}$ зрівноважує силу тяжіння $m\vec{g}$ і силу поверхневого натягу $\vec{F}_{пн}$, тобто $F = F_{пн} + mg$. Оскільки межа між рідиною та дротом існує по *обидва* боки дроту, її загальна довжина l удвічі більша за периметр квадрата: $l = 8b$. Отже, $F_{пн} = \sigma l = 8\sigma b$, а $F = 8\sigma b + mg = 22$ мН. Правильна відповідь Г.

15. З вертикально розміщеної піпетки, радіус отвору якої $r = 1,2$ мм, відміряли в посудину $N = 125$ крапель рідини. Унаслідок цього маса посудини з рідиною збільшилася від $m_1 = 45,2$ г до $m_2 = 58,4$ г. Визначте за результатами цього досліду поверхневий натяг рідини. Вважайте, що в момент відриву краплі радіус її шийки дорівнює радіусу отвору піпетки; $g = 10$ м/с^2; $\pi = \frac{22}{7}$.

А	Б	В	Г
140 мН/м	160 мН/м	250 мН/м	440 мН/м

Розв'язання. Перед самим відривом краплі сила поверхневого натягу $F_{пн} = \sigma \cdot 2\pi r$ зрівноважує силу тяжіння mg краплі. Отже, $\sigma \cdot 2\pi r = mg$. Масу m краплі визначимо зі співвідношення $m_1 + Nm = m_2$. Отримаємо $\sigma = \dfrac{(m_2 - m_1)g}{2\pi N r} = 0{,}14$ Н/м. Правильна відповідь А.

16. Визначте, яка форма поверхні рідини біля стінок вертикального капіляра є можливою.



Розв'язання. Якщо рідина змочує стінки капіляра, то опуклість її поверхні (як *всередині* капіляра, так і ззовні) напрямлена вниз; у цьому випадку рідина піднімається по капіляру. Якщо ж рідина не змочує стінки капіляра, то все буде «навпаки»: опуклість її поверхні напрямлена вгору, рідина опускається в капілярі нижче рівня в широкій посудині. На одному рисунку не можуть «поєднуватися», наприклад, опуклість вгору та піднімання рідини в капілярі. Правильна відповідь Б.

17. Визначте масу рідини, яка піднялася по капіляру радіусом $r = 0{,}5$ мм, якщо змочування є повним, а поверхневий натяг рідини $\sigma = 40$ мН/м. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$; $g = 10$ м/с^2. Відповідь округліть до 0,1 мг.

А	Б	В	Г
6,3 мг	12,6 мг	18,9 мг	25,2 мг

Розв'язання. Сила поверхневого натягу $F_{пн} = \sigma \cdot 2\pi r$ зрівноважує силу mg тяжіння, яка діє на стовпчик рідини. Отже, $mg = \sigma \cdot 2\pi r$ і $m = \dfrac{2\pi\sigma r}{g} = 12{,}6$ мг. Правильна відповідь Б.

18. Визначте, на яку висоту h підніметься по капіляру радіуса $r=0{,}5$ мм рідина з густиною $\rho=800$ кг/м^3 і поверхневим натягом $\sigma=25$ мН/м. Змочування вважайте повним; $g=10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
1,25 см	1,5 см	1,75 см	2,0 см

Розв'язання. Умова рівноваги стовпчика рідини має вигляд $mg=\sigma\cdot 2\pi r$. Вважаючи, що рідина в капілярі має циліндричну форму, отримаємо $m=\rho V=\rho\cdot\pi r^2 h$. Звідси $h=\frac{2\sigma}{\rho g r}=1{,}25$ см. Правильна відповідь А.

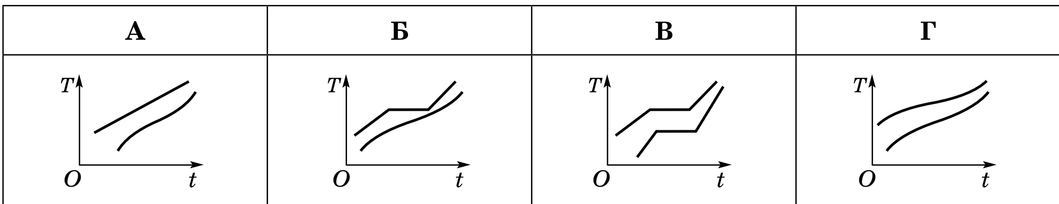
19. Під дією підвішеного вантажу масою $m=5$ кг мідний дріт завдовжки $l_0=1{,}2$ м видовжився на $\Delta l=0{,}4$ мм. Визначте площу S поперечного перерізу дроту. Вважайте, що $g=10$ м/с^2; модуль пружності міді $E=120$ ГПа.

А	Б	В	Г
0,60 мм^2	1,25 мм^2	2,40 мм^2	4,80 мм^2

Розв'язання. Подамо відносне видовження ε дроту через його абсолютне видовження: $\varepsilon=\frac{\Delta l}{l_0}$. Скористаємося законом Гука $\sigma=E\varepsilon$, де $\sigma=\frac{F}{S}$ — механічна напруга в стержні. Оскільки сила F пружності в стержні дорівнює вазі mg вантажу, отримаємо $S=\frac{mgl_0}{E\Delta l}=1{,}25\cdot 10^{-6}$ м^2. Правильна відповідь Б.

20. На рисунках подані графіки залежності температури T двох тіл від часу t. Визначте, який рисунок відповідає перетворенню аморфного та кристалічного тіл на рідину.

А	Б	В	Г



Розв'язання. Під час плавлення кристалу його температура не змінюється (середня кінетична енергія руху частинок не зростає, уся отримана енергія витрачається на руйнування кристалічної ґратки, тобто на збільшення потенціальної енергії взаємодії частинок). Тому відповідний графік обов'язково має горизонтальну ділянку. У випадку перетворення на рідину аморфного тіла

руйнування кристалічної ґратки не відбувається (дальній порядок в аморфному тілі відсутній). Спостерігається збільшення плинності речовини, температура при цьому весь час зростає, хоча й нерівномірно. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. За температури $t_1 = 25$ °С відносна вологість повітря в закритому балоні дорівнює $\varphi_1 = 50\,\%$. Скориставшись наведеною таблицею, визначте (*у відсотках*) відносну вологість повітря φ_2 після охолодження балона до температури $t_2 = 10$ °С.

Температура, °С	**Густина насиченої водяної пари, г/м^3**
10	9,4
25	23,0

Розв'язання. Оскільки початкова відносна вологість повітря $\varphi_1 = \frac{\rho}{\rho_{н1}} \cdot 100\,\%$, густину водяної пари можна подати через густину $\rho_{н1}$ насиченої водяної пари за початкової температури: $\rho = \frac{\varphi_1 \rho_{н1}}{100\,\%}$. Якщо під час охолодження пара не конденсується, її густина не змінюється, тоді $\varphi_2 = \frac{\rho}{\rho_{н2}} \cdot 100\,\% = \frac{\varphi_1 \rho_{н1}}{\rho_{н2}} \approx 120\,\%$. Отже, вологість збільшилася до 100 % (пара стала насиченою) ще до кінця охолодження, після цього «зайва» пара конденсувалася, а пара в балоні залишилась насиченою.

Відповідь: 100.

2. Якщо відкритий вертикальний капіляр занурити одним кінцем у воду, то вода підніметься в капілярі на висоту $h_1 = 12$ мм. Визначте максимально можливу висоту h_2 стовпчика води в капілярі, який міститься в повітрі.

А	**Б**	**В**	**Г**
3 мм	6 мм	12 мм	24 мм

Розв'язання. Воду в капілярі утримує сила $\vec{F}$ поверхневого натягу рідини, яка діє по периметру вільної поверхні води в капілярі. Якщо капіляр занурений нижнім кінцем у воду, умова рівноваги стовпчика води має такий вигляд: $F = m_1 g$. Якщо ж капіляр міститься в повітрі, стовпчик рідини має дві вільні поверхні та відповідно два периметри. З умови рівноваги $2F = m_2 g$ випливає, що в другому випадку маса води в капілярі вдвічі більша: $m_2 = 2m_1$. Отже, $h_2 = 2h_1$.

Правильна відповідь Г. (Може виникнути запитання: як вода потрапить до капіляра? Зробити це просто: треба спочатку занурити довгу відкриту капілярну трубку майже повністю у воду, а потім закрити нижній отвір і вийняти трубку з води. Якщо тепер отвір відкрити, частина води витече, а стовпчик висотою h_2 залишиться.)

3. U-подібна трубка має різні внутрішні радіуси правого і лівого колін: $r_1 = 0{,}6$ мм і $r_2 = 0{,}1$ мм. Визначте різницю рівнів Δh налитої в трубку води. Густина води $\rho = 1000$ кг/м^3. Вважайте, що змочування повне; $g = 10$ м/с^2; поверхневий натяг рідини $\sigma = 72$ мН/м.

А	Б	В	Г
2,4 см	4,8 см	12 см	14 см

Розв'язання. Фактично ми маємо сполучені капіляри різних радіусів. Простіше за все уявити, що вони сполучаються з широкою посудиною. Тоді висота води в капілярах $h_1 = \dfrac{2\sigma}{\rho g r_1}$ і $h_2 = \dfrac{2\sigma}{\rho g r_2}$, а різниця рівнів води $\Delta h = h_2 - h_1 = \dfrac{2\sigma(r_1 - r_2)}{\rho g r_1 r_2} = 0{,}12$ м. Правильна відповідь В.

4. Занадто довгий дріт, який звисає з даху хмарочоса, може обірватися під власною вагою. Визначте максимально можливу довжину l мідного дроту, за якої дріт не обірветься. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2; густина міді $\rho = 9000$ кг/м^3; межа міцності $\sigma_м = 45$ МПа.

А	Б	В	Г
500 м	450 м	180 м	100 м

Розв'язання. Позначимо S площу поперечного перерізу дроту. Тоді об'єм міді $V = Sl$, її маса $m = \rho Sl$, вага $P = mg = \rho Slg$. Найбільша механічна напруга (у верхньому поперечному перерізі) $\sigma = \dfrac{P}{S} = \rho gl$ не повинна перевищувати межу міцності. Звідси $l = \dfrac{\sigma_м}{\rho g} = 500$ м (відповідь не залежить від S). Правильна відповідь А.

5. Балон містить суміш кисню та водню за температури $t = 100\,°C$. Кількість молекул в обох газах є однаковою, тиск у балоні $p_0 = 300$ кПа. Між газами відбувається хімічна реакція з утворенням молекул води, після чого температура в балоні знижується до початкової. Визначте кінцевий тиск у балоні. Вважайте, що нормальний атмосферний тиск $p_{атм} = 100$ кПа.

А	Б	В	Г
150 кПа	175 кПа	200 кПа	300 кПа

Розв'язання. Позначимо n_0 початкову концентрацію молекул водню, початкова концентрація молекул кисню та сама. Парціальний тиск кожного газу до реакції дорівнював $\frac{p_0}{2}$, початковий тиск у балоні $p_0 = 2n_0kT$. Запишемо рівняння хімічної реакції, яка відбувається в балоні: $2H_2 + O_2 \to 2H_2O$. З цього рівняння випливає, що прореагують увесь водень і половина кисню. Отже, після реакції концентрація молекул кисню буде $\frac{n_0}{2}$. Із формули $p = nkT$ випливає, що кінцевий парціальний тиск кисню буде вдвічі меншим від початкового, тобто $\frac{p_0}{4}$. На перший погляд здається, що концентрація молекул водяної пари та сама, що й початкова концентрація молекул водню, і парціальний тиск водяної пари дорівнює $\frac{p_0}{2}$, тобто 150 кПа. Але зазначимо, що температура 100 °C — це температура кипіння води за нормального атмосферного тиску, тому тиск насиченої водяної пари за цієї температури дорівнює атмосферному (частина утвореної пари конденсується). Отже, кінцевий тиск у балоні $p = p_{атм} + \frac{p_0}{4} = 175$ кПа. Правильна відповідь Б.

6. Квадратна пластинка плаває у воді. Довжина бічної сторони пластинки $l = 2$ см, вода змочує пластинку. На скільки *міліметрів* зменшиться глибина h занурення пластинки у воду, якщо натерти пластинку парафіном? Вода парафін не змочує. Вважайте, що $g = 10\,\frac{м}{с^2}$; густина води $\rho = 1000\,\frac{кг}{м^3}$; поверхневий натяг води $\sigma = 72{,}5\,\frac{мН}{м}$.

Розв'язання. Спочатку сила $\vec{F}_{пн}$ поверхневого натягу діяла на пластинку вниз, умова рівноваги мала вигляд $mg + F_{пн} = F_{A1}$. Тут $F_{пн} = 4\sigma l$, $F_{A1} = \rho g l^2 h_1$. Звідси початкова глибина занурення пластинки $h_1 = \frac{mg + 4\sigma l}{\rho g l^2}$. Коли пластинку вкрито тонким шаром парафіну, сила поверхневого натягу діє на пластинку вгору. У цьому випадку умова рівноваги має вигляд $mg = F_{A2} + F_{пн}$. Оскільки $F_{A2} = \rho g l^2 h_2$, кінцева глибина занурення пластинки $h_2 = \frac{mg - 4\sigma l}{\rho g l^2}$. Отже, $h_1 - h_2 = \frac{8\sigma}{\rho g l} = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м $= 2{,}9$ мм.

Відповідь: 2,9.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте, чому мокра білизна швидше висихає на вітру, ніж під час затишку.

А	Б	В	Г
Вітер полегшує відрив молекул від поверхні води	Вітер уносить пару, тим самим уповільнюючи конденсацію	Вітер надає додаткової енергії молекулам води	Вітер надає додаткової енергії молекулам кисню та азоту

2. Визначте (приблизно) відносну вологість повітря в приміщенні за температури 30 °С, якщо парціальний тиск водяної пари дорівнює 1,7 кПа. Тиск насиченої водяної пари за даної температури становить 4,2 кПа.

А	Б	В	Г
35 %	40 %	45 %	50 %

3. Визначте (приблизно) відносну вологість повітря в приміщенні за температури 14 °С, якщо густина водяної пари дорівнює 8 г/м^3. Густина насиченої водяної пари за даної температури становить 12 г/м^3.

А	Б	В	Г
57 %	67 %	75 %	86 %

4. Температура в приміщенні підвищилася від 18 до 25 °С. Скориставшись наведеною таблицею, визначте, якою стала відносна вологість повітря, якщо спочатку вона дорівнювала 50 %.

Температура, °С	Густина насиченої водяної пари, г/м^3
18 25	15 23

А	Б	В	Г
33 %	36 %	69 %	76 %

5. Термометри психрометра показують 16 і 20 °С. Визначте температуру повітря в приміщенні.

А	Б	В	Г
4 °С	16 °С	18 °С	20 °С

6. Визначте відносну вологість повітря в приміщенні за температури 19 °С, якщо точка роси становить 14 °С. Скористайтеся наведеною таблицею.

Температура, °С	Густина насиченої водяної пари, г/м^3
14	12
19	16

А	Б	В	Г
72 %	75 %	84 %	86 %

7. Термометри психрометра показують 13 і 18 °С. Визначте відносну вологість повітря в приміщенні, скориставшись наведеною психрометричною таблицею.

Показ сухого термометра, °С	Різниця показів сухого та вологого термометрів, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Відносна вологість, %									
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30

А	Б	В	Г
34 %	49 %	56 %	72 %

8. Обидва термометри психрометра показують 26 °С. Визначте відносну вологість повітря.

А	Б	В	Г
0 %	26 %	52 %	100 %

9. Скориставшись наведеною таблицею, визначте (приблизно) атмосферний тиск на гірській вершині, де вода кипить за температури 82 °C.

Температура, °C	**Тиск насиченої водяної пари, кПа**
70	31
75	38
80	47
85	57
90	70

А	**Б**	**В**	**Г**
50 кПа	60 кПа	70 кПа	80 кПа

10. На поверхні рідини розташований трикутник з тонкого жорсткого дроту. Сторони трикутника дорівнюють 3, 4 і 5 см, маса дроту 0,6 г. Визначте, яку вертикальну силу треба прикласти до трикутника, щоб відірвати його від поверхні рідини. Поверхневий натяг рідини дорівнює 50 мН/м; вважайте, що $g = 10$ м/с^2; трикутник весь час розташований горизонтально.

А	**Б**	**В**	**Г**
6 мН	12 мН	18 мН	24 мН

11. Горизонтальне дротяне кільце масою 2,9 г і діаметром 10 см відривають за допомогою динамометра від поверхні рідини. Динамометр у момент відриву показує 60 мН. Визначте за результатами цього досліду поверхневий натяг рідини. Вважайте, що $\pi = 3{,}1$; $g = 10$ м/с^2.

А	**Б**	**В**	**Г**
29 мН/м	31 мН/м	50 мН/м	60 мН/м

12. З вертикально розміщеної піпетки, радіус отвору якої 0,6 мм, відміряли в пусту посудину 200 крапель рідини, поверхневий натяг якої дорівнює 350 мН/м. Визначте загальну масу рідини в посудині. Вважайте, що в момент відриву краплі радіус шийки цієї краплі дорівнює радіусу отвору піпетки; $g = 10$ м/с^2; $\pi = \frac{22}{7}$.

А	**Б**	**В**	**Г**
13,2 г	17,5 г	21,0 г	26,4 г

13. Визначте, в яких випадках рідина має змочувати поверхню матеріалу: 1 — фарба та поверхня виробу; 2 — вода та тканина намету; 3 — вода та рушник; 4 — гас і гніт гасової лампи.

А	Б	В	Г
Тільки 1, 2 і 3	Тільки 1, 2 і 4	Тільки 1, 3 і 4	Тільки 2, 3 і 4

14. Визначте масу рідини, яка піднялася по капіляру радіусом 0,4 мм, якщо змочування є повним, а поверхневий натяг рідини дорівнює 25 мН/м. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$; $g = 10$ м/с^2. Відповідь округліть до 0,1 мг.

А	Б	В	Г
3,1 мг	6,3 мг	9,4 мг	18,9 мг

15. Визначте, на яку висоту піднімається по капіляру радіусом 0,2 мм рідина з густиною 1200 кг/м^3 і поверхневим натягом 30 мН/м. Змочування вважайте повним; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
12 мм	20 мм	25 мм	30 мм

16. Визначте густину рідини, якщо в капілярі радіусом 0,4 мм вона піднімається на висоту 2,5 см. Поверхневий натяг рідини дорівнює 45 мН/м. Змочування вважайте повним; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
800 кг/м^3	850 кг/м^3	900 кг/м^3	950 кг/м^3

17. Рідина 1 піднялася в капілярі на висоту 3 см. Визначте висоту піднімання в такому самому капілярі рідини 2, якщо вона має на 20 % меншу густину та вдвічі більший поверхневий натяг. Змочування в обох випадках вважайте повним.

А	Б	В	Г
1,2 см	1,9 см	4,8 см	7,5 см

18. Довжина дроту, до якого підвісили вантаж, збільшилася від 2 до 2,01 м. Визначте відносне видовження дроту.

А	Б	В	Г
0,0025	0,005	0,01	0,02

19. До кінців дроту радіусом r і завдовжки l приклали дві сили, які розтягують дріт. Модуль кожної сили дорівнює F. Визначте механічну напругу в дроті.

А	Б	В	Г
$\frac{F}{2rl}$	$\frac{F}{\pi r^2}$	$\frac{F}{rl}$	$\frac{2F}{\pi r^2}$

20. Визначте механічну напругу в дроті діаметром 1 мм, до якого підвішений вантаж масою 31,4 кг. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
10 МПа	40 МПа	100 МПа	400 МПа

21. Вантаж спирається на вертикальний стержень з площею поперечного перерізу $50\,\text{мм}^2$. Визначте масу вантажу, якщо механічна напруга в стержні дорівнює 400 кПа. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
2 кг	8 кг	12,5 кг	16 кг

22. Під час рівномірного переміщення вантажу масою 1 т механічна напруга в стержні гака автокрана не повинна перевищувати 60 МПа. Визначте (приблизно) мінімально можливий діаметр стержня. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,5 см	1,0 см	1,5 см	2,0 см

23. Межа міцності цегли дорівнює 24 МПа, густина цегли — $1600\,\text{кг/м}^3$. Визначте максимально можливу висоту вертикальної цегляної стіни, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2. Механічна напруга не повинна перевищувати $\frac{1}{5}$ межі міцності матеріалу.

А	Б	В	Г
30 м	150 м	240 м	300 м

24. Визначте, в якому випадку деформація тіла є пластичною.

А	Б	В	Г
Буферні пружини стискаються при зчепленні вагонів	Дошка, по якій людина переходить через струмок, прогинається	На циліндричному стержні нарізають різьбу	Батут деформується під час стрибків спортсмена

25. Визначте перетворення, після якого речовина може стати анізотропною.

А	Б	В	Г
Плавлення	Кристалізація	Пароутворення	Конденсація

26. Визначте речовину або тіло, якій (якому) властива анізотропія.

А	Б	В	Г
Рідкий азот	Скляна куля	Діамант	Пара ртуті

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між матеріалом і можливим станом речовини за нормальних умов.

1 Скло
2 Ртуть
3 Графіт
4 Аргон

А Кристалічне тіло
Б Плазма
В Рідина
Г Аморфне тіло
Д Газ

28. Установіть відповідність між властивостями речовини та станом речовини.

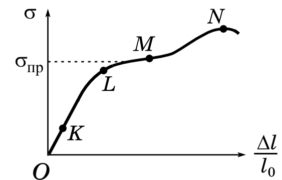
1 Тіло зберігає форму, спостерігається анізотропія
2 Об’єм практично незмінний, форма не зберігається
3 Під час стискання за незмінної температури густина не змінюється
4 Тіло ізотропне, зберігає форму

А Насичена пара
Б Розріджений газ
В Рідина
Г Аморфне тіло
Д Монокристал

29. Установіть відповідність між елементом конструкції та типом деформації.

1 Троси підвісного моста	**А** Зсув
2 Дошка, по якій туристи переходять струмок	**Б** Розтяг
3 Ніжки шафи	**В** Кручення
4 Брусок, який штовхають горизонтально по столу	**Г** Вигин
	Д Стискання

30. На рисунку наведено графік залежності механічної напруги σ в алюмінієвому дроті від відносного видовження $\frac{\Delta l}{l_0}$ дроту. Установіть відповідність між точками на графіку та характером деформації дроту.



1 Точка *K*	**А** Деформація непружна, спостерігається плинність
2 Точка *L*	**Б** Деформація пружна, закон Гука не виконується
3 Точка *M*	**В** Деформація пружна, закон Гука виконується
4 Точка *N*	**Г** Деформація непружна, закон Гука виконується
	Д Деформація непружна, відповідає границі міцності

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте (*у кілограмах*), скільки води потрібно випарити, щоб збільшити відносну вологість повітря в залі площею 80 м^2 і висотою 4 м від 35 до 60 %. Вважайте, що густина насиченої водяної пари за даної температури дорівнює 15 г/м^3.

32. Визначте (*у г/м³*) густину насиченої водяної пари за температури 27 °C, якщо її тиск за цієї температури дорівнює 3,5 кПа. Вважайте, що універсальна газова стала дорівнює $8{,}4\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$; молярна маса води становить 0,018 кг/моль.

33. З вертикальної трубки діаметром 1 мм у посудину ємністю $10\,\text{см}^3$ падають краплі рідини. Визначте кількість крапель, які заповнять посудину, якщо густина рідини дорівнює $800\,\text{кг/м}^3$, її поверхневий натяг — 32 мН/м. Вважайте, що $\pi = \frac{25}{8}$; $g = 10$ м/с^2.

34. Вода піднялася в капілярі на 45 мм. Визначте (*у міліметрах*), якою стане висота рідини в капілярі, якщо у воду додати трохи мила. Вважайте, що мило не змінює густини рідини, а поверхневий натяг рідини зменшує на третину.

35. Вантаж масою 50 кг, підвішений на сталевому дроті, треба переміщати вниз і вгору з прискоренням до $5\,\text{м/с}^2$. Визначте (*у мм²*) мінімальну площу поперечного перерізу дроту, за якої механічна напруга в ньому не перевищить $\frac{1}{4}$ межі міцності сталі, що дорівнює 500 МПа. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

36. Зі дна озера повільно з постійною швидкістю підіймають на тросі сітку з алюмінієвими брусками. Загальна маса брусків становить 540 кг. Трос завдовжки 4 м і складається зі 100 сталевих дротів з площею поперечного перерізу по $1\,\text{мм}^2$. Визначте (*у міліметрах*) видовження тросу, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2. Густина води дорівнює 1000 кг/м^3, густина алюмінію — 2700 кг/м^3; модуль Юнга сталі становить 200 ГПа.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	,	33	,	35	,		
32	,	34	,	36	,		

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Розділ 8. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Що треба згадати

Закон збереження електричного заряду: $q_1 + q_2 + \ldots = \text{const}$ (електричний заряд замкненої системи тіл є незмінним).

Закон Кулона (для точкових зарядів q_1 і q_2 у вакуумі):
$F = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, де F — модуль сили кулонівської взаємодії; r — відстань між точковими зарядами; ε_0 — електрична стала.

Напруженість електричного поля: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}$, де $\vec{F}$ — сила, з якою поле діє на пробний заряд $q_{\text{пр}}$.

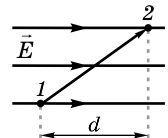
Принцип суперпозиції полів: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots$, де $\vec{E}$ — напруженість електричного поля, створеного системою точкових зарядів; $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \ldots$ — напруженості електричних полів, створених у даній точці точковими зарядами q_1, $q_2, \ldots$.

Потенціал електричного поля: $\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_{\text{пр}}}$, де $W_{\text{п}}$ — потенціальна енергія пробного заряду $q_{\text{пр}}$ у даній точці поля.

Різниця потенціалів: $U = \varphi_1 - \varphi_2$, де φ_1, φ_2 — потенціал електричного поля відповідно в точці 1 і точці 2.

Робота електричного поля: $A = qU$, де q — електричний заряд, який рухається в електричному полі; U — різниця потенціалів між початковою та кінцевою точками траєкторії руху електричного заряду.

Зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю однорідного поля: $U = \varphi_1 - \varphi_2 = Ed$, де d — проекція переміщення заряду на напрямок силових ліній поля (див. рисунок).



Напруженість поля точкового заряду q у вакуумі: $E = k\frac{|q|}{r^2} = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

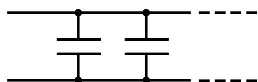
Напруженість поля точкового заряду q в діелектрику: $E = k\frac{|q|}{\varepsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r^2}$, де ε — діелектрична проникність діелектрика.

Електроємність конденсатора: $C = \frac{q}{U}$, де q — заряд конденсатора (модуль заряду однієї його обкладки); U — різниця потенціалів між обкладками.

Електроємність плоского конденсатора: $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$, де ε — діелектрична проникність діелектрика всередині конденсатора; S — площа однієї з обкладок, d — відстань між обкладками.

Енергія зарядженого конденсатора: $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$.

З'єднання конденсаторів (C — загальна електроємність):



Паралельне з'єднання

$C = C_1 + C_2 + \ldots$



Послідовне з'єднання

$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots$

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Тертя між склом і шовком спричиняє виникнення негативного електричного заряду на шовку. Визначте, які частинки та як саме при цьому переміщуються.

А	Б	В	Г
Електрони з шовку на скло	Протони з шовку на скло	Електрони зі скла на шовк	Позитивні йони зі скла на шовк

Розв'язання. Під час електризації тертям відбувається перехід з одного тіла на інше найбільш рухомих заряджених частинок — електронів (їх заряд негатив-

ний). Тіло, на яке вони переходять, набуває негативного електричного заряду (через надлишок електронів), а інше тіло — позитивного електричного заряду (через нестачу електронів). Правильна відповідь В.

2. Дві однакові металеві кульки мають заряди $+q$ і $-5q$. Кульки привели в дотик і знову роз'єднали. Визначте кінцевий заряд Q першої кульки, якщо зовнішнє електричне поле відсутнє.

А	Б	В	Г
$-6q$	$-4q$	$-2q$	$4q$

Розв'язання. Кульки металеві, отже, електрони можуть переходити з однієї кульки на іншу. Кульки однакові, отже, за відсутності зовнішнього поля перерозподіл заряду закінчиться, коли заряди на кульках зрівняються. Скористаємося законом збереження заряду: $2Q = q - 5q$, звідки $Q = -2q$. Правильна відповідь В.

3. Визначте, як і в скільки разів зміниться сила кулонівської взаємодії двох електронів унаслідок збільшення відстані між ними в 3 рази.

А	Б	В	Г
Зменшиться в 9 разів	Зменшиться в $3\sqrt{3}$ разу	Зменшиться в 3 рази	Зменшиться в $\sqrt{3}$ разу

Розв'язання. Згідно із законом Кулона сила взаємодії точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Отже, збільшення відстані між електронами в 3 рази спричинить зменшення сили їх кулонівської взаємодії в $3^2 = 9$ разів. Правильна відповідь А.

4. Дві однакові металеві кульки мали заряди $+q$ і $-3q$. Кульки привели в дотик і знову розташували на тій самій відстані. Визначте, як і в скільки разів змінився модуль сили кулонівської взаємодії між кульками.

А	Б	В	Г
Зменшився в 1,5 разу	Зменшився в 3 рази	Збільшився в 1,5 разу	Збільшився в 3 рази

Розв'язання. Після дотику заряд кожної кульки дорівнює $\frac{q-3q}{2} = -q$. Згідно із законом Кулона модуль F сили взаємодії заряджених кульок прямо пропорційний добутку модулів зарядів кульок. Отже, модуль F сили зменшився в 3 рази. Правильна відповідь Б.

5. Порошинка масою $m = 2{,}4 \cdot 10^{-6}$ г має заряд $q = -3{,}2 \cdot 10^{-11}$ Кл і перебуває в рівновазі в однорідному електричному полі. Визначте модуль і напрямок напруженості $\vec{E}$ поля, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

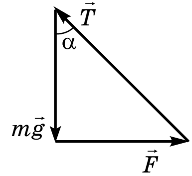
А	Б	В	Г
750 В/м; униз	7,5 кВ/м; униз	750 В/м; угору	7,5 кВ/м; угору

Розв'язання. Порошинка перебуває в рівновазі, коли сила $\vec{F} = q\vec{E}$, яка діє з боку електричного поля, зрівноважує силу тяжіння $m\vec{g}$. Отже, сила $\vec{F}$ напрямлена вгору. Заряд порошинки негативний — це означає, що $\vec{E}$ напрямлена вниз. З умови рівноваги $|q|E = mg$ отримуємо $E = \frac{mg}{|q|} = 750$ В/м. Правильна відповідь А.

6. Заряджена кулька масою $m = 1$ г висить на нитці. Коли на кульку діє однорідне електричне поле напруженістю $E = 40$ кВ/м, силові лінії якого горизонтальні, нитка утворює з вертикаллю кут $\alpha = 45°$. Визначте модуль заряду q кульки, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
100 нКл	150 нКл	200 нКл	250 нКл

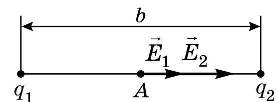
Розв'язання. Кулька перебуває в рівновазі, коли $m\vec{g} + \vec{F} + \vec{T} = 0$. Тут $\vec{F} = q\vec{E}$ — сила, що діє на кульку з боку електричного поля; $\vec{T}$ — сила натягу нитки. Три сили (див. рисунок) утворюють прямокутний трикутник, у якому $F = mg \cdot \text{tg}\alpha$. Отже, $|q| = \frac{mg \cdot \text{tg}\alpha}{E} = 2{,}5 \cdot 10^{-7}$ Кл. Правильна відповідь Г.



7. Точкові заряди $q_1 = 40$ нКл і $q_2 = -60$ нКл розташовані у вакуумі на відстані $b = 60$ см один від одного. Визначте модуль E напруженості електричного поля в точці, яка розташована посередині між зарядами. Коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

А	Б	В	Г
0,5 кВ/м	2 кВ/м	2,5 кВ/м	10 кВ/м

Розв'язання. Скористаємося принципом суперпозиції електричних полів: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Візьмемо до уваги, що напруженість $\vec{E}_1$ поля першого (позитивного) заряду напрямлена *від* цього заряду, а напруженість $\vec{E}_2$ поля другого (негативного) заряду напрямлена *до* цього заряду (див. рисунок). Отже, обидва вектори напрямлені в один



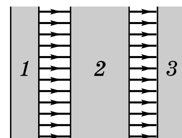
бік. Як випливає із закону Кулона, модулі цих векторів дорівнюють $E_1 = k\dfrac{4q_1}{b^2}$; $E_2 = k\dfrac{4|q_2|}{b^2}$, тому $E = k\dfrac{4(q_1 + |q_2|)}{b^2} = 10$ кВ/м. Правильна відповідь Г.

8. Точкові заряди $q_1 = 10$ нКл і $q_2 = -40$ нКл розташовані на відстані $l = 20$ см один від одного. Визначте, на якій відстані r від заряду q_1 розташована точка, в якій напруженість електричного поля двох зарядів дорівнює нулю.

А	Б	В	Г
5 см	10 см	20 см	30 см

Розв'язання. Відповідно до принципу суперпозиції електричних полів у шуканій точці $\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0$. Інакше кажучи, напруженості полів зарядів у цій точці однакові за модулем і протилежні за напрямком. Звідси випливає, що шукана точка лежить на одній прямій із зарядами, причому поза відрізком $q_1 - q_2$ (порівняйте з попередньою задачею). Точка має бути розташована ближче до заряду з меншим модулем. Ураховуючи це, отримуємо співвідношення $E_1 = k\dfrac{q_1}{r^2}$ і $E_2 = k\dfrac{|q_2|}{(r+l)^2}$, звідки $r = \dfrac{l}{\sqrt{\dfrac{|q_2|}{q_1}} - 1} = 20$ см. Правильна відповідь В.

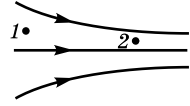
9. На рисунку показано фрагмент картини силових ліній паралельних плоских провідних пластин. Визначте знаки електричних зарядів q_1, q_2, q_3 пластин.



А	Б	В	Г
$q_1 > 0$; $q_2 = 0$; $q_3 < 0$	$q_1 > 0$; $q_2 > 0$; $q_3 < 0$	$q_1 = 0$; $q_2 > 0$; $q_3 = 0$	$q_1 < 0$; $q_2 = 0$; $q_3 > 0$

Розв'язання. Силові лінії електричного поля починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних. Судячи з рисунку, на «зовнішніх» поверхнях пластин 1 і 3 немає електричних зарядів; на правій поверхні пластини 1 є рівномірно розподілений позитивний заряд, а на лівій поверхні пластини 3 — рівномірно розподілений негативний заряд. Отже, $q_1 > 0$, $q_3 < 0$. На двох поверхнях пластини 2 є рівномірно розподілені заряди протилежних знаків, однакові за модулем (це видно з кількості силових ліній, які входять у пластину та виходять з неї). Отже, $q_2 = 0$. Правильна відповідь А.

10. На рисунку показано фрагмент картини силових ліній електростатичного поля. Порівняйте модулі E_1 і E_2 напруженостей та потенціали φ_1 і φ_2 у зазначених на рисунку точках.



А	Б	В	Г
$E_1 > E_2$; $\varphi_1 > \varphi_2$	$E_1 > E_2$; $\varphi_1 < \varphi_2$	$E_1 < E_2$; $\varphi_1 > \varphi_2$	$E_1 < E_2$; $\varphi_1 < \varphi_2$

Розв'язання. Відстань між силовими лініями тим менша, чим більший модуль напруженості електричного поля. Отже, $E_1 < E_2$. Силові лінії поля напрямлені завжди в бік зменшення потенціалу; отже, $\varphi_1 > \varphi_2$. Правильна відповідь В.

11. Суцільну металеву кулю внесли в електростатичне поле. Виберіть твердження, яке завжди справджується для напруженостей $\vec{E}_1$ і $\vec{E}_2$ та потенціалів φ_1 і φ_2 електростатичного поля у двох довільних точках 1 і 2 усередині кулі.

А	Б	В	Г
$E_1 = E_2$; $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$	$E_1 = E_2 = 0$; $\varphi_1 = \varphi_2$	$E_1 = E_2 = 0$; $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$	$E_1 = E_2 \neq 0$; $\varphi_1 = \varphi_2$

Розв'язання. Під дією зовнішнього електричного поля починається перерозподіл зарядів усередині провідника: рух вільних носіїв заряду (в металах це вільні електрони) стає упорядкованим. Це спричиняє розділення зарядів, які тепер створюють власне електричне поле. Відповідно до принципу суперпозиції полів напруженість електричного поля всередині провідника змінюється. Процес триватиме доти, доки електричне поле всередині провідника *не зникне* (при цьому «розділені» заряди розташовані на поверхні провідника). Зазначимо, що *відсутність* поля визначається умовою $E = 0$ (на заряджені частинки не діє кулонівська сила), але зовсім не обов'язково має дорівнювати нулю потенціал: усередині провідника всі точки мають *однаковий потенціал*, тобто *різниця потенціалів між точками дорівнює нулю* (при переміщенні зарядженої частинки між будь-якими двома точками всередині провідника електричне поле роботу не виконує). Правильна відповідь Б.

12. Електрон рухається вздовж силової лінії електростатичного поля. Точку з потенціалом $\varphi_1 = 80$ В електрон проходить зі швидкістю $v_1 = 4000$ км/с. Визначте потенціал φ_2 точки, в якій електрон зупиниться. Вважайте, що маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
35 В	45 В	115 В	125 В

Розв'язання. Краще за все скористатися законом збереження енергії: $q\varphi_1 + \frac{mv_1^2}{2} = q\varphi_2 + \frac{mv_2^2}{2}$. Увізьмемо до уваги, що $v_2 = 0$, а заряд електрона негативний $(q = -e)$. Отримаємо $\varphi_2 = \varphi_1 - \frac{mv_1^2}{2e} = 35$ В. Правильна відповідь А.

13. Електрон рухається в електростатичному полі. Точку з потенціалом $\varphi_1 = 150$ В електрон проходить зі швидкістю $v_1 = 4000$ км/с. Визначте потенціал φ_2 точки, в якій швидкість руху електрона стане вдвічі більшою. Вважайте, що маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

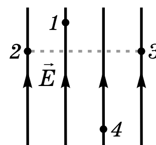
А	Б	В	Г
15 В	60 В	135 В	285 В



Тут нема чого розраховувати! Електрон розганяється, отже, його кінетична енергія *збільшується*. Із закону збереження енергії випливає, що потенціальна енергія $W_п$ електрона в електростатичному полі зменшується. Оскільки $W_п = q\varphi = -e\varphi$, потенціал φ *збільшується*. А серед відповідей є тільки одне значення потенціалу, яке більше за 150 В! Правильна відповідь Г.

Коментар. Можна сформулювати це міркування й інакше: електрон, як і всі негативні частинки, розганяється, рухаючись у напрямку, протилежному напрямку силових ліній. Радимо перевірити правильність відповіді Г, підставивши чисельні значення величин у формулу закону збереження енергії.

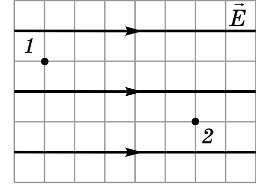
14. Порівняйте потенціали φ_1, φ_2, φ_3, φ_4 відповідних точок в однорідному електростатичному полі (див. рисунок).



А	Б	В	Г
$\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3 = \varphi_4$	$\varphi_2 < \varphi_1 < \varphi_4 < \varphi_3$	$\varphi_1 < \varphi_2 = \varphi_3 < \varphi_4$	$\varphi_3 < \varphi_4 < \varphi_1 < \varphi_2$

Розв'язання. Нагадаємо, що *різниця* потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ чисельно дорівнює роботі електричного поля під час переміщення одиничного позитивного заряду з точки 1 у точку 2. При русі в напрямку силових ліній ця робота є додатною; отже, потенціал зменшується. Силові лінії напрямлені в бік *зменшення* потенціалу. При переміщенні перпендикулярно до силових ліній робота не виконується; отже, всі точки площини, перпендикулярної до силових ліній однорідного поля, мають однаковий потенціал. Правильна відповідь В.

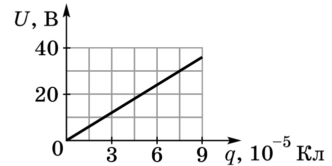
15. Визначте різницю потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ між точками 1 і 2 (див. рисунок), розташованими в однорідному електричному полі з напруженістю $E = 600$ В/м. Довжина сторони кожного квадрата сітки на рисунку $b = 5$ см.



А	Б	В	Г
90 В	150 В	210 В	–90 В

Розв'язання. Різниця потенціалів між двома точками $\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$. Тут d — проекція вектора, проведеного з першої точки в другу, на напрямок силових ліній. У даному випадку d дорівнює відстані між точками 1 і 2 «по горизонталі», тобто $d = 5b$. Отже, $\varphi_1 - \varphi_2 = 5Eb = 150$ В. Правильна відповідь Б.

16. На рисунку подано графік залежності напруги U на конденсаторі від заряду q цього конденсатора. Визначте електроємність конденсатора.



А	Б	В	Г
2,5 мкФ	40 мкФ	25 мкФ	225 мкФ

Розв'язання. Напруга U на конденсаторі прямо пропорційна його заряду q, що відповідає наведеному графіку: $U = \frac{q}{C}$. Відношення $C = \frac{q}{U}$ не залежить від заряду та напруги, воно є сталим. Тому для визначення C виберемо найзручнішу точку на графіку, для якої $q = 7{,}5 \cdot 10^{-5}$ Кл і $U = 30$ В. Правильна відповідь А.

17. Електроємність плоского слюдяного конденсатора $C = 6300$ пФ. Визначте площу S обкладок цього конденсатора, якщо товщина шару слюди $d = 0{,}01$ мм. Вважайте, що електрична стала $\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; діелектрична проникність слюди $\varepsilon = 7$.

А	Б	В	Г
1 $см^2$	10 $см^2$	100 $см^2$	1000 $см^2$

Розв'язання. Із формули електроємності плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$ отримуємо $S = \frac{Cd}{\varepsilon_0 \varepsilon} = 10^{-3}$ $м^2$. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Двом маленьким провідним кулькам різних радіусів, які торкалися одна одної, надали загального заряду $Q = 70$ нКл. Кульки розійшлися на відстань $r = 30$ см та відштовхуються із силою $F = 0{,}1$ мН. Визначте заряд q кульки, яка має менший радіус. Кульки розташовані у вакуумі; коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

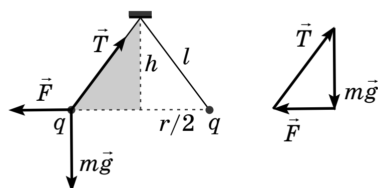
А	Б	В	Г
10 нКл	15 нКл	20 нКл	30 нКл

Розв'язання. Заряди кульок дорівнюють q і $Q - q$, тому за законом Кулона сила їх взаємодії $F = k\frac{q(Q-q)}{r^2}$. Із квадратного рівняння $q^2 - Qq + \frac{Fr^2}{k} = 0$ отримуємо $q = (3{,}5 \pm 1{,}5) \cdot 10^{-8}$ Кл, тобто 20 і 50 нКл. Отже, заряд кульки з меншим радіусом дорівнює 20 нКл. Правильна відповідь В.

2. Дві однакові кульки масами $m = 0{,}3$ г підвішені в одній точці на нитках завдовжки $l = 25$ см. Коли кулькам надали однакових позитивних зарядів, вони розійшлися на відстань $r = 30$ см одна від одної. Визначте заряд q кожної кульки, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2; коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

А	Б	В	Г
30 нКл	50 нКл	75 нКл	150 нКл

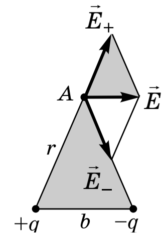
Розв'язання. На кульку діють три сили, рівнодійна яких дорівнює нулю: $m\vec{g} + \vec{F} + \vec{T} = 0$ ($\vec{F}$ — кулонівська сила, $\vec{T}$ — сила натягу нитки) (див. рисунок). Із подібності трикутника сил і виділеного на рисунку трикутника випливає, що $\frac{F}{mg} = \frac{0{,}5r}{h}$, де $h = \sqrt{l^2 - \left(\frac{r}{2}\right)^2} = 20$ см. Скориставшись також формулою закону Кулона $F = k\frac{q^2}{r^2}$, отримаємо $q = r\sqrt{\frac{mgr}{2kh}} = 150$ нКл. Правильна відповідь Г.



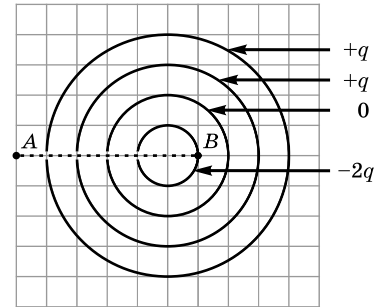
3. Два точкових заряди $q=48$ нКл і $-q$ розташовані у вакуумі на відстані $b=15$ см один від одного. Визначте модуль E напруженості електричного поля цих зарядів у точці A, якщо відстань від точки A до кожного заряду $r=20$ см; коефіцієнт $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\cdot10^9\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

А	Б	В	Г
10,8 кВ/м	8,1 кВ/м	5,4 кВ/м	2,7 кВ/м

Розв'язання. Кожний точковий заряд створює в точці A електричне поле. Позначимо $\vec{E}_+$ і $\vec{E}_-$ напруженості цих полів. Із закону Кулона випливає, що модулі $\vec{E}_+$ і $\vec{E}_-$ однакові: $E_+=E_-=k\frac{q}{r^2}$. Відповідно до принципу суперпозиції полів $\vec{E}=\vec{E}_++\vec{E}_-$ (див. рисунок). Скористаємося подібністю виділених на рисунку трикутників: $\frac{E}{E_+}=\frac{b}{r}$. Звідси $E=k\frac{qb}{r^3}=8100$ В/м. Правильна відповідь Б.



4. На рисунку подано концентричні провідні сфери та зазначено їх заряди. Через маленькі отвори в цих сферах пролітає протон від точки A до точки B. Визначте загальну довжину відрізків траєкторії руху протона, на яких його рух був рівномірним. Довжина сторони кожного квадрата сітки дорівнює 5 см.



А	Б	В	Г
5 см	10 см	15 см	20 см

Розв'язання. Протон рухається рівномірно там, де електричне поле відсутнє. Рівномірно заряджена сфера, заряд якої дорівнює Q, створює ззовні таке електричне поле, як і точковий заряд Q, розташований у центрі сфери. Всередині ж сфери електричне поле відсутнє. У даному випадку поле в точці відсутнє, якщо сумарний заряд усіх *внутрішніх* для даної точки сфер дорівнює нулю. Отже, електричне поле відсутнє: 1) всередині найменшої сфери; 2) ззовні всіх сфер, тому що їх сумарний заряд дорівнює нулю. Якщо подумки розбити траєкторію руху протона на шість 5-сантиметрових відрізків, то поле відсутнє на першому з них і на двох останніх. Отже, правильна відповідь В.

5. Два конденсатори, розраховані на максимальну напругу $U_0 = 12$ В, з'єднали послідовно. Електроємності конденсаторів $C_1 = 0{,}2$ мкФ і $C_2 = 0{,}6$ мкФ. Визначте максимальну напругу $U_{\max}$, яку витримає така батарея конденсаторів.

А	Б	В	Г
12 В	16 В	24 В	48 В



Про що тут взагалі розмовляти? Якщо на кожному конденсаторі напруга 12 В, то на двох послідовно з'єднаних конденсаторах напруга дорівнюватиме 24 В. Безумовно, правильна відповідь В. Хіба можуть бути якісь сумніви?

Коментар. ***Ця відповідь неправильна!*** Певні сумніви завжди корисні! Давайте поміркуємо: чи може напруга дорівнювати 12 В на *кожному* з конденсаторів? Адже в послідовно з'єднаних конденсаторів однакові *заряди*, тобто $C_1U_1 = C_2U_2$. Звідси отримуємо $\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}$. У даному випадку це означає, що напруга на першому конденсаторі втричі більша, ніж на другому. Отже, якщо поступово збільшувати напругу на батареї конденсаторів, напруга U_1 першою збільшиться до граничного значення U_0, при цьому напруга на другому конденсаторі дорівнюватиме $\frac{C_1}{C_2}U_0$. Таким чином, $U_{\max} = U_0 + \frac{C_1}{C_2}U_0 = U_0\frac{C_1 + C_2}{C_2} = 16$ В. Правильна відповідь Б.

6. Два плоскі повітряні конденсатори зарядили та від'єднали від джерела струму. Після цього конденсатор 1 заповнили гасом (його діелектрична проникність $\varepsilon = 2$), а в конденсатора 2 зменшили відстань d між пластинами. Визначте, як змінилася напруженість електричного поля в кожному конденсаторі.

А	Б	В	Г
1 — збільшилася; 2 — зменшилася	1 — не змінилася; 2 — збільшилася	1 — зменшилася; 2 — зменшилася	1 — зменшилася; 2 — не змінилася

Розв'язання. Якщо заряджений конденсатор від'єднали від джерела струму, то його заряд q не може змінитися. Напруженість електричного поля всередині конденсатора $E = \frac{U}{d} = \frac{q}{Cd} = \frac{q}{\varepsilon_0 \varepsilon S}$. З отриманої формули випливає, що при незмінному заряді напруженість поля не залежить від відстані d між пластинами й обернено пропорційна діелектричній проникності ε. Правильна відповідь Г.

7. Визначте, як треба з'єднати три конденсатори електроємністю $C_1 = 6$ мкФ кожний, щоб отримати батарею конденсаторів електроємністю $C = 4$ мкФ.

А	Б	В	Г

Розв'язання. Нагадаємо, що при паралельному з'єднанні двох конденсаторів електроємностями C_1 і C_2 отримуємо електроємність $C = C_1 + C_2$, яка більша за C_1 і більша за C_2, а при послідовному з'єднанні $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ (загальна електроємність менша, ніж C_1 і ніж C_2). Таким чином, у випадку Б отримаємо електроємність $3C_1$, а у випадку А — електроємність $\frac{C_1}{3}$. У випадку В два верхні конденсатори дають електроємність $\frac{C_1}{2}$, вони паралельно з'єднані з нижнім конденсатором, тому $C = C_1 + \frac{C_1}{2} = 1{,}5C_1 = 9$ мкФ. У випадку Г два паралельно з'єднані конденсатори мають електроємність $2C_1$, а послідовно з ними приєднано ще один конденсатор. Тому $\frac{1}{C} = \frac{1}{2C_1} + \frac{1}{C_1}$, звідки $C = \frac{2C_1}{3} = 4$ мкФ. Отже, правильна відповідь Г.

8. Пластини плоского повітряного конденсатора, площа яких $S = 150$ см^2, розташовані на відстані $d_1 = 1$ мм одна від одної. Конденсатор, заряджений до напруги $U = 200$ В, від'єднали від джерела струму. Визначте, яку роботу A треба виконати, щоб збільшити відстань між пластинами до $d_2 = 3$ мм. Вважайте, що електрична стала $\varepsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

А	Б	В	Г
2,7 мкДж	3,6 мкДж	5,4 мкДж	8,1 мкДж

Розв'язання. Пластини зарядженого конденсатора мають різні знаки зарядів, тому вони притягуються одна до одної. Отже, для збільшення відстані між ними дійсно треба виконати роботу. Долаючи силу електричного притягання пластин, ми збільшуємо енергію W_e електричного поля конденсатора: $A = \Delta W_e$. Візьмемо до уваги, що при переміщенні *ізольованих* пластин $q = \text{const}$; скористаємося

формулою енергії електричного поля $W_e = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$ і формулою електроємності плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$. Звідси $W_e = \frac{q^2 d}{2\varepsilon_0 \varepsilon S}$ і $A = \Delta W_e = \frac{q^2 (d_2 - d_1)}{2\varepsilon_0 \varepsilon S}$. Заряд конденсатора можна виразити через початкову напругу та початкове значення електроємності: $q = C_1 U = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U}{d_1}$, тоді $A = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S U^2 (d_2 - d_1)}{2d_1^2}$. Вважаючи, що для повітря $\varepsilon = 1$, отримаємо $A = 5{,}4 \cdot 10^{-6}$ Дж. Правильна відповідь В.

9. Два однакових плоских повітряних конденсатори з'єднані послідовно та приєднані до джерела постійного струму з напругою $U = 20$ В. Відстань між пластинами першого конденсатора зменшили вдвічі, а відстань між пластинами другого — збільшили вдвічі. Визначте, якою стала після цього напруга U_1 на першому конденсаторі.

А	Б	В	Г
4 В	5 В	15 В	16 В

Розв'язання. Сума напруг на конденсаторах дорівнює напрузі на клемах джерела струму: $U_1 + U_2 = U$. Доки конденсатори були однаковими, напруги на них були рівними (по 10 В). Після переміщення пластин відбувся перерозподіл напруги в колі. Позначимо C початкову електроємність кожного конденсатора. Оскільки електроємність конденсатора обернено пропорційна відстані між його пластинами, кінцеві значення електроємностей конденсаторів $C_1 = 2C$ і $C_2 = \frac{1}{2}C$. У послідовно з'єднаних конденсаторів однакові електричні заряди: $q_1 = q_2$. Звідси $C_1 U_1 = C_2 U_2$ і $U_2 = 4U_1$. Отже, $U_1 = \frac{U}{5} = 4$ В і $U_2 = \frac{4U}{5} = 16$ В. Правильна відповідь А.

10. Два точкових заряди $q_1 = 5$ нКл і $q_2 = 8$ нКл розташовані у вакуумі на відстані $r = 30$ см один від одного. Визначте, як і на скільки зміниться енергія електричного поля цих зарядів, якщо відстань між зарядами збільшити на $s = 1$ мм. Коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

А	Б	В	Г
Збільшиться на 8 нДж	Збільшиться на 4 нДж	Зменшиться на 8 нДж	Зменшиться на 4 нДж

Розв'язання. Два позитивні заряди відштовхуються із силою $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$. Оскільки відстань між зарядами набагато більша за s, можна вважати силу F незмінною. Під час віддалення зарядів ця сила виконує *додатну* роботу $A = Fs = k\frac{q_1 q_2}{r^2}s = 4 \cdot 10^{-9}$ Дж $= 4$ нДж. Як випливає із закону збереження енергії, ця робота виконується за рахунок *зменшення* енергії електричного поля. Отже, правильна відповідь Г.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Електрони вилітають з розпеченої металевої пластини 1 та накопичуються на пластині 2. Визначте знаки електричних зарядів обох пластин.

А	Б	В	Г
1 — позитивний; 2 — позитивний	1 — позитивний; 2 — негативний	1 — негативний; 2 — позитивний	1 — негативний; 2 — негативний

2. Дві однакові ебонітові кульки мають заряди $-q$ і $-5q$. Кульки привели в дотик і знову роз'єднали. Визначте кінцевий заряд першої кульки.

А	Б	В	Г
$-6q$	$-5q$	$-3q$	$-q$

3. Відстань між маленькими зарядженими кульками зменшили від 20 до 5 см. Визначте, як і в скільки разів змінилася сила кулонівської взаємодії кульок.

А	Б	В	Г
Збільшилася в 2 рази	Збільшилася в 4 рази	Збільшилася у 8 разів	Збільшилася в 16 разів

4. Дві однакові металеві кульки мали заряди $-q$ і $-5q$. Кульки привели в дотик і знову розташували на тій самій відстані. Визначте, як і в скільки разів змінився модуль сили кулонівської взаємодії кульок.

А	**Б**	**В**	**Г**
Зменшився в 5 разів	Зменшився в 1,8 разу	Збільшився в 5 разів	Збільшився в 1,8 разу

5. Визначте силу кулонівської взаємодії двох електронів, які розташовані у вакуумі на відстані 0,16 мм один від одного. Заряд електрона дорівнює $-1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл; коефіцієнт $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\cdot 10^{9}\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

А	**Б**	**В**	**Г**
$9\cdot 10^{-22}$ Н	$9\cdot 10^{-21}$ Н	$9\cdot 10^{-20}$ Н	$9\cdot 10^{-19}$ Н

6. Модуль напруженості однорідного електричного поля дорівнює 500 В/м. Визначте фізичний зміст цього твердження.

А	**Б**	**В**	**Г**
На заряд 500 Кл діє з боку електричного поля сила 1 Н	Якщо відстань між двома точками поля становить 1 м, то напруга між ними обов'язково дорівнює 500 В	На заряд 1 Кл діє з боку електричного поля сила 500 Н	Якщо відстань між двома точками поля становить 500 м, то напруга між ними обов'язково дорівнює 1 В

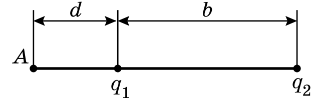
7. Напруженість електричного поля точкового заряду на відстані 6 см від цього заряду дорівнює 36 кВ/м. Визначте напруженість електричного поля даного заряду на відстані 18 см від нього.

А	**Б**	**В**	**Г**
2 кВ/м	4 кВ/м	9 кВ/м	12 кВ/м

8. Визначте, які одиниці фізичних величин збігаються: (1) $\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$; (2) $\frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$; (3) $\text{В}\cdot\text{Кл}$; (4) $\frac{\text{В}}{\text{м}}$; (5) $\frac{\text{Кл}}{\text{В}}$.

А	**Б**	**В**	**Г**
(1) і (3)	(1) і (4)	(2) і (4)	(2) і (5)

9. Точкові заряди $q_1 = 20$ нКл і $q_2 = -30$ нКл розташовані у вакуумі на відстані $b = 40$ см один від одного. Визначте модуль напруженості електричного поля в точці A (див. рисунок), якщо $d = 20$ см. Коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

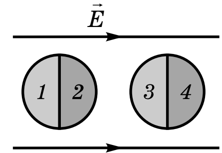


А	Б	В	Г
3,75 кВ/м	5,25 кВ/м	6,75 кВ/м	8,25 кВ/м

10. Два однакові точкові заряди по 60 нКл розташовані у вакуумі на відстані 48 см один від одного. Визначте модуль напруженості електричного поля цих зарядів у точці, відстань від якої до кожного заряду становить 30 см. Коефіцієнт $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

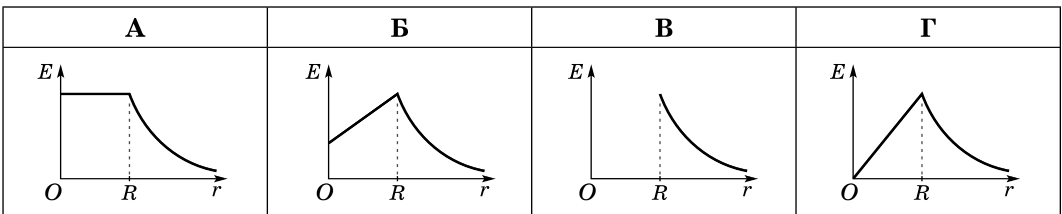
А	Б	В	Г
0,9 кВ/м	1,8 кВ/м	3,6 кВ/м	7,2 кВ/м

11. Дві кулі складені з нейтральних півкуль, причому півкулі 1 і 2 металеві, а півкулі 3 і 4 — ебонітові (див. рисунок). Кулі помістили в електричне поле та роз'єднали на півкулі. Визначте знаки зарядів q_1 і q_3 півкуль 1 і 3.



А	Б	В	Г
$q_1 > 0$; $q_3 = 0$	$q_1 < 0$; $q_3 = 0$	$q_1 > 0$; $q_3 > 0$	$q_1 < 0$; $q_3 < 0$

12. Тонкостінній металевій сфері радіусом R надали позитивного заряду. Виберіть графік залежності модуля E напруженості електричного поля сфери від відстані r до її центра.

А	Б	В	Г
			

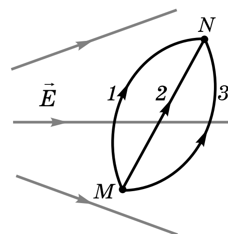
13. Заряджене тіло перемістили із вакууму в однорідний діелектрик з діелектричною проникністю ε (тіло перебуває далеко від межі діелектрика). Унаслідок цього в ε разів...

А	Б	В	Г
…зменшилася напруженість електричного поля	…зменшився електричний заряд тіла	…збільшилася напруженість електричного поля	…збільшився електричний заряд тіла

14. Позитивний заряд 20 нКл перемістили в однорідному електричному полі напруженістю 40 кВ/м. Модуль переміщення дорівнює 8 см, переміщення напрямлене під кутом 60° до напрямку силових ліній. Визначте роботу електричного поля.

А	Б	В	Г
8 мкДж	16 мкДж	32 мкДж	64 мкДж

15. Порівняйте роботи A_1, A_2, A_3, які виконує електростатичне поле під час переміщення тіла із зарядом 1 нКл з точки M у точку N різними траєкторіями — 1, 2 і 3 (див. рисунок).



А	Б	В	Г
$A_1 > A_2 > A_3$	$A_2 > A_1 = A_3$	$A_1 = A_2 = A_3$	$A_2 < A_1 = A_3$

16. Частинка із зарядом 50 нКл переміщується з точки, потенціал якої дорівнює 360 В, у точку з потенціалом 240 В. Визначте роботу електричного поля.

А	Б	В	Г
−30 мкДж	−6 мкДж	6 мкДж	30 мкДж

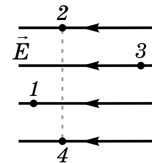
17. Визначте, якої швидкості руху набуває електрон, пройшовши прискорюючу різницю потенціалів 45 В. Вважайте, що початкова швидкість руху електрона дорівнює нулю, його маса становить $9 \cdot 10^{-31}$ кг, а елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
1000 км/с	2000 км/с	3000 км/с	4000 км/с

18. Протон рухається в електростатичному полі. Точку з потенціалом 200 В він проходить зі швидкістю 100 км/с. Визначте потенціал точки, в якій швидкість руху протона дорівнюватиме 200 км/с. Вважайте, що маса протона становить $1{,}6 \cdot 10^{-27}$ кг; елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
50 В	100 В	150 В	350 В

19. Порівняйте потенціали φ_1, φ_2, φ_3, φ_4 точок в однорідному електростатичному полі (див. рисунок).

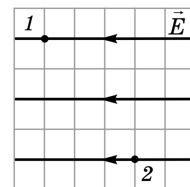


А	Б
$\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_4 < \varphi_3$	$\varphi_1 < \varphi_2 = \varphi_4 < \varphi_3$
В	**Г**
$\varphi_2 < \varphi_3 < \varphi_1 < \varphi_4$	$\varphi_4 < \varphi_1 < \varphi_3 < \varphi_2$

20. Електрична іскра в повітрі виникає за напруженості електричного поля 2,8 МВ/м. Визначте максимально можливу напругу між обкладками плоского повітряного конденсатора, відстань між якими дорівнює 2 мм.

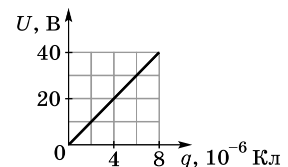
А	Б	В	Г
0,7 кВ	1,4 кВ	1,8 кВ	5,6 кВ

21. Визначте різницю потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$ між точками 1 і 2 (див. рисунок), розташованими в однорідному електричному полі напруженістю 1 кВ/м. Довжина сторони кожного квадрата сітки дорівнює 10 см.



А	Б	В	Г
–300 В	300 В	500 В	–500 В

22. На рисунку подано графік залежності напруги U на конденсаторі від заряду q цього конденсатора. Визначте електроємність конденсатора.



А	Б	В	Г
0,05 мкФ	0,2 мкФ	80 мкФ	320 мкФ

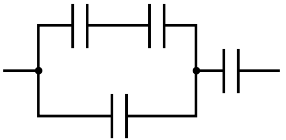
23. Визначте, як зміниться електроємність плоского повітряного конденсатора, якщо заповнити простір між його пластинами слюдою. Діелектрична проникність слюди дорівнює 7.

А	Б	В	Г
Не зміниться	Збільшиться в 7 разів	Зменшиться в 7 разів	Збільшиться в 49 разів

24. Плоский повітряний конденсатор приєднаний до батарейки. Визначте, як зміниться заряд конденсатора у двох випадках: 1 — якщо заповнити проміжок між пластинами гасом (його діелектрична проникність дорівнює 2); 2 — якщо збільшити відстань між пластинами.

А	Б	В	Г
1 — збільшиться; 2 — зменшиться	1 — зменшиться; 2 — зменшиться	1 — не зміниться; 2 — збільшиться	1 — зменшиться; 2 — не зміниться

25. Визначте електроємність поданого на рисунку з'єднання конденсаторів, якщо електроємність кожного конденсатора дорівнює 0,4 мкФ.



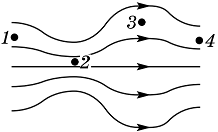
А	Б	В	Г
0,1 мкФ	0,24 мкФ	0,67 мкФ	1,6 мкФ

26. Конденсатор електроємністю 15 мкФ, заряджений до напруги 20 В, розрядили через резистор. Визначте кількість теплоти, яка виділилася в резисторі.

А	Б	В	Г
30 мкДж	60 мкДж	3 мДж	6 мДж

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. На рисунку подано силові лінії електростатичного поля. Установіть відповідність між точкою та характеристикою електричного поля.



1 Точка 1
2 Точка 2
3 Точка 3
4 Точка 4

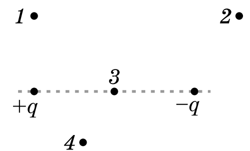
А Найбільший потенціал
Б Найбільший модуль напруженості
В Найменший потенціал
Г Напруженість поля дорівнює нулю
Д Найменший модуль напруженості

28. Плоский повітряний конденсатор зарядили та від'єднали від джерела струму. Після цього відстань між пластинами зменшили вдвічі. Установіть відповідність між фізичною величиною та характером зміни значення фізичної величини.

1 Електроємність конденсатора
2 Напруга на конденсаторі
3 Заряд конденсатора
4 Сила взаємодії між електронами з різних обкладок

А Збільшується в 4 рази
Б Зменшується в 4 рази
В Зменшується вдвічі
Г Збільшується вдвічі
Д Не змінюється

29. На рисунку подано два однакові за модулем точкові заряди. Установіть відповідність між кожною із зазначених точок 1–4 та приблизним напрямком напруженості електричного поля даних точкових зарядів.



1 Точка 1
2 Точка 2
3 Точка 3
4 Точка 4

А ↘
Б ↙
В ↗
Г →
Д ↖

30. Установіть відповідність між елементом конструкції (пристрою) та фізичним ефектом, який спричиняє цей елемент.

1 Ланцюг або електропровідна стрічка позаду автомобіля
2 Пластикова оболонка електричного шнура
3 «Футляр» з металевої фольги навколо пристрою
4 Тонкий шар срібла на електричних контактах

А Електрична ізоляція
Б Заземлення корпусу
В Зменшення опору, захист від корозії
Г Електростатичний захист
Д Збільшення електроємності

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Два електрони розташовані у вакуумі на відстані 32 см один від одного. Визначте (*у км/с²*) модуль прискорення руху електронів унаслідок їх кулонівської взаємодії. Вважайте, що маса електрона дорівнює $9\cdot10^{-31}$ кг; елементарний електричний заряд становить $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл. Коефіцієнт $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}=9\cdot10^9\ \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

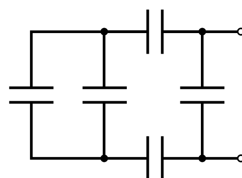
32. Позитивні точкові заряди 12 і 48 нКл розташовані на відстані 12 см один від одного. Визначте (*у сантиметрах*), на якій відстані від меншого заряду розташована точка, в якій напруженість електричного поля двох зарядів дорівнює нулю.

33. Напруженість електричного поля в плоскому повітряному конденсаторі електроємністю 25 пФ дорівнює 50 кВ/м, а відстань між пластинами становить 4 мм. Визначте (*у нанокулонах*) заряд конденсатора.

34. Два конденсатори з'єднані послідовно. Електроємність одного з них дорівнює 0,48 мкФ, а загальна електроємність системи — 0,12 мкФ. Визначте (*у мікрофарадах*) електроємність другого конденсатора.

35. До конденсатора електроємністю 0,5 мкФ, зарядженому до напруги 60 В, паралельно підключили незаряджений конденсатор електроємністю 7,5 мкФ. Визначте (*у вольтах*) напругу на конденсаторах.

36. Визначте (*у мікрофарадах*) електроємність поданої на рисунку системи конденсаторів, якщо електроємність кожного конденсатора дорівнює 6 мкФ.



БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31				,			
32				,			

31 | | | | , | | |
32 | | | | , | | |
33 | | | | , | | |
34 | | | | , | | |
35 | | | | , | | |
36 | | | | , | | |

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31 | | | | , | | |
32 | | | | , | | |
33 | | | | , | | |
34 | | | | , | | |
35 | | | | , | | |
36 | | | | , | | |

Розділ 9. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

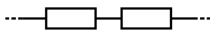
Що треба згадати

- **Сила струму:** $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$, де Δq — електричний заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за інтервал часу Δt.

- **Опір провідника:** $R=\rho\frac{l}{S}$, де ρ — питомий опір; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника.

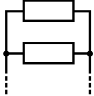
- **Закон Ома для ділянки кола:** $I=\frac{U}{R}$, де I — сила струму в провіднику; R — електричний опір провідника; U — різниця потенціалів (напруга) на кінцях провідника.

- **Послідовне з'єднання провідників:**



$$I=I_1=I_2=\ldots;\; U=U_1+U_2+\ldots;\; R=R_1+R_2+\ldots$$

- **Паралельне з'єднання провідників:**



$$U=U_1=U_2=\ldots;\; I=I_1+I_2+\ldots;\; \frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\ldots$$

- **Для паралельного з'єднання двох провідників:** $R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}$.

- **Робота електричного струму:** $A=UIt$, де I — сила струму в ділянці кола; U — напруга на ділянці кола; t — час протікання струму.

- **Закон Джоуля — Ленца:** $Q=I^2Rt$, де Q — кількість теплоти, що виділяється в провіднику опором R за сили струму I протягом часу t.

- **Потужність струму:** $P=\frac{A}{t}=UI$.

- **Потужність струму для ділянки кола без сторонніх сил:** $P=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}$.

Електрорушійна сила (ЕРС): $\mathscr{E}=\frac{A_{ст}}{q}$, де $A_{ст}$ — робота сторонніх сил при переміщенні по ділянці кола заряду q.

Закон Ома для повного кола: $I=\frac{\mathscr{E}}{R+r}$, де $\mathscr{E}$ і r — відповідно ЕРС і внутрішній опір джерела струму; R — опір зовнішнього кола.

Наслідок із закону Ома для повного кола: $U=\mathscr{E}-Ir$.

Учимося виконувати тестові завдання

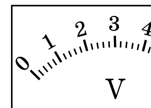
Перший рівень

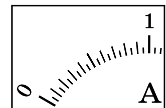
1. Через поперечний переріз провідника довжиною $l=2$ м і площею поперечного перерізу $S=4$ мм^2 протягом часу $t=8$ с проходить заряд $q=4{,}8$ Кл. Визначте силу струму I в провіднику.

А	Б	В	Г
0,6 А	1,2 А	2,4 А	4,8 А

Розв'язання. Сила струму за означенням чисельно дорівнює заряду, який протікає через поперечний переріз провідника щосекунди: $I=\frac{q}{t}$. Отже, розміри провідника несуттєві. Правильна відповідь А.

2. На рисунку подано фрагменти шкал вольтметра та амперметра. Визначте ціну поділки кожної шкали.





А	Б	В	Г
1 В на поділку; 1 А на поділку	1 В на поділку; 0,1 А на поділку	0,2 В на поділку; 0,05 А на поділку	0,2 В на поділку; 0,1 А на поділку

Розв'язання. Ціна поділки відповідає відстані між *найближчими* штрихами на шкалі, незалежно від довжини штрихів та наявності чи відсутності чисел поряд з ними. На шкалі вольтметра між 0 і 1 В є п'ять проміжків між поділками; отже, кожний такий проміжок відповідає напрузі 0,2 В. На шкалі амперметра між 0 і 1 А є двадцять найменших проміжків; отже, кожний такий проміжок відповідає силі струму 0,05 А. Правильна відповідь В.

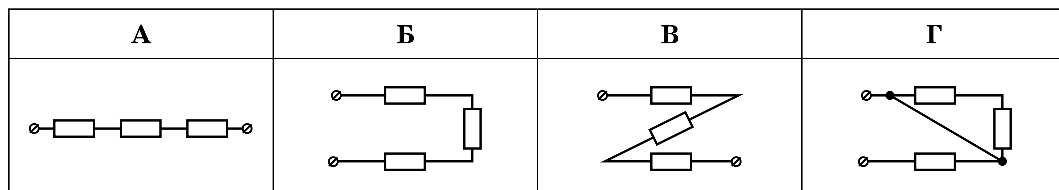
3. Порівняйте електричні опори R_1 і R_2 двох провідників: 1 — мідного довжиною $l_1 = 50$ м і площею поперечного перерізу $S_1 = 3{,}4$ мм^2; 2 — алюмінієвого довжиною $l_2 = 40$ м і площею поперечного перерізу $S_2 = 5{,}6$ мм^2. Питомий опір міді $\rho_1 = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом $\cdot$ м; питомий опір алюмінію $\rho_2 = 2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ом $\cdot$ м.

А	Б	В	Г
$R_1 = 0{,}8R_2$	$R_1 = 1{,}25R_2$	$R_1 = 2{,}1R_2$	$R_1 = 2{,}5R_2$

Розв'язання. Опори провідників $R_1 = \rho_1 \dfrac{l_1}{S_1}$ і $R_2 = \rho_2 \dfrac{l_2}{S_2}$. Звідси $\dfrac{R_1}{R_2} = \dfrac{\rho_1 l_1 S_2}{\rho_2 l_2 S_1} = 1{,}25$. Правильна відповідь Б.

4. Визначте, яка схема НЕ відповідає послідовному з'єднанню трьох резисторів.

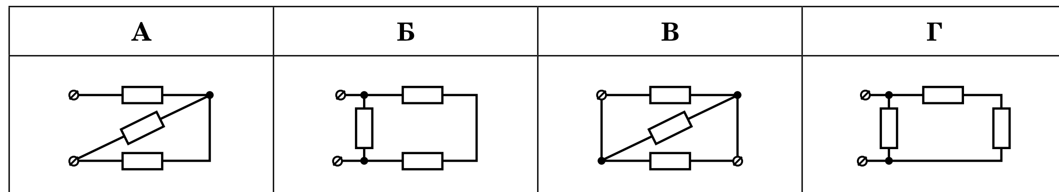
А	Б	В	Г



Розв'язання. Послідовне коло — це коло без розгалужень. Цій умові не задовольняє тільки схема Г, у якій два резистора закорочено провідником (струм тече саме через цей провідник). Правильна відповідь Г.

5. Визначте, яка схема відповідає паралельному з'єднанню трьох резисторів.

А	Б	В	Г



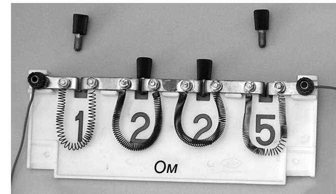
Розв'язання. Треба визначити, у якій схемі один кінець кожного резистора з'єднано провідником з певною клемою, а інший кінець — з іншою клемою. Інакше кажучи, усі провідники мають бути безпосередньо з'єднані з клемами. За цієї умови різниця потенціалів на кожному резисторі дорівнюватиме різниці потенціалів між клемами. Правильна відповідь В.

6. Резистори 1 і 2 з'єднані послідовно. Визначте, яке співвідношення може НЕ виконуватися для такої ділянки кола (U — напруга; I — сила струму; R — електричний опір).

А	Б	В	Г
$I = I_1 + I_2$	$U = U_1 + U_2$	$R = R_1 + R_2$	$I_1 = I_2$

Розв'язання. Послідовне коло — це коло без розгалужень. У такому колі відповідно до закону збереження електричного заряду через кожний поперечний переріз провідника щосекунди протікає однаковий заряд q. Отже, сила струму $I = \frac{q}{t}$ в усіх поперечних перерізах є однаковою: $I = I_1 = I_2$. Оскільки робота A електричного поля складається з робіт A_1 і A_2 на ділянках кола, загальна напруга $U = U_1 + U_2$. Звідси випливає, що $R = R_1 + R_2$. Правильна відповідь А.

7. На рисунку подано магазин резисторів: чотири дротяні спіралі, опори яких (в омах) зазначено на панелі пристрою, і чотири металеві перемички, які можна вставити у спеціальні гнізда або вийняти, тим самим змінивши опір магазина резисторів. Визначте опір поданого магазина резисторів, вважаючи опір перемичок нехтовно малим.



А	Б	В	Г
0,83 Ом	4 Ом	6 Ом	10 Ом

Розв'язання. Якщо б усі перемички були вийняті, струм послідовно протікав би по всіх спіралях. У цьому випадку опір магазина резисторів дорівнював би $1+2+2+5=10$ (Ом). Якщо вставити перемичку паралельно якомусь резистору, то практично весь струм потече саме через перемичку (кажуть, що вона закорочує спіраль) і опір відповідної ділянки кола зменшиться практично до нуля. Отже, при визначенні опору магазина слід ураховувати тільки ті спіралі, над якими *немає* перемичок. Опори спіралей підібрано так, щоб опір магазина міг дорівнювати будь-якій цілій кількості омів від 1 до 10. У даному випадку (див. рисунок) «працюють» спіралі з опорами 1 і 5 Ом, а опір магазина дорівнює 6 Ом. Правильна відповідь В.

8. Резистори 1 і 2 з'єднані паралельно. Визначте, яке співвідношення може НЕ виконуватися для такої ділянки кола (U — напруга; I — сила струму; R — електричний опір).

А	Б	В	Г
$I = I_1 + I_2$	$U = U_1 = U_2$	$R < R_1$	$I_1 = I_2$

Розв'язання. Розглянемо вузол кола, в якому струм I розгалужується на I_1 і I_2. Відповідно до закону збереження електричного заряду щосекунди в цей вузол втікає і витікає із нього однаковий заряд, звідки $I = I_1 + I_2$. Оскільки обидва резистори з'єднують ті самі вузли кола, напруги на резисторах однакові: $U = U_1 = U_2$. Звідси випливає, що сили струму в резисторах однакові $(I_1 = I_2)$ *тільки* за умови $R_1 = R_2$. З формули $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ випливає, що $R < R_1$, $R < R_2$. Отже, правильна відповідь Г.

9. Резистори 1, 2 і 3 з'єднані паралельно. Виберіть формулу, за якою можна визначити опір R ділянки кола.

А	Б	В	Г
$R = R_1 + R_2 + R_3$	$R = \frac{R_1R_2R_3}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}$	$R = \frac{R_1R_2R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$	$R = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$

Розв'язання. Відповідь А можна відразу «відсіяти» (з неї випливає, що $R > R_1$). Відповідь В явно не витримує перевірки на одиниці величин (цю формулу часто помилково застосовують за аналогією з правильною формулою $R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$ для *двох* паралельно з'єднаних провідників). Щоб вибрати правильну відповідь, треба виходити із *загальної* формули $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots$, яка справджується для паралельного з'єднання будь-якої кількості провідників. Правильна відповідь Б.

10. Коло, схему якого втрачено, складається з чотирьох резисторів опорами R_1, R_2, R_3, R_4. Визначте, яка формула загального опору кола *може* бути правильною.

А	Б
$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_4$	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 - R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 - R_4}$
В	**Г**
$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} + R_4$	$R = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1 R_2 R_3} + R_4$

Розв'язання. Відповіді А і Г не витримують перевірки на одиниці величин. Відповідь Б не може бути правильною з інших міркувань: наприклад, за умови $R_1 < R_2$, $R_3 < R_4$ значення R було би від'ємним, що неможливо. Правильна відповідь В (вона відповідає паралельному з'єднанню резисторів 1, 2, 3 і послідовному приєднанню до цієї ділянки кола резистора 4).

11. Визначте опір ділянки кола (рис. 1), якщо опір кожного резистора $R_1 = 30$ Ом.

А	Б	В	Г
60 Ом	80 Ом	120 Ом	150 Ом

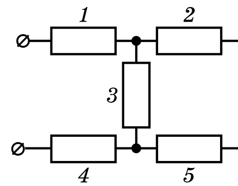


Рис. 1

Розв'язання. Якщо немає абсолютно чіткого уявлення про характер з'єднання резисторів, то краще перш за все накреслити еквівалентну схему кола, зручну для аналізу. У даному випадку таку схему можна отримати, якщо подумки тягти клеми в різні боки, *розтягуючи* провідники, але *не розриваючи* їх (рис. 2). Загальний опір резисторів 2 і 5, з'єднаних послідовно: $R_{2-5} = R_2 + R_5 = 2R_1$. До них паралельно приєднано резистор 3, тому $R_{3-2-5} = \frac{R_3 R_{2-5}}{R_3 + R_{2-5}} = \frac{2R_1}{3}$. Загальний опір ділянки кола: $R = R_1 + R_{3-2-5} + R_4 = \frac{8R_1}{3} = 80$ Ом (резистори 1 і 4 приєднані послідовно до ділянки 3–2–5). Правильна відповідь Б.

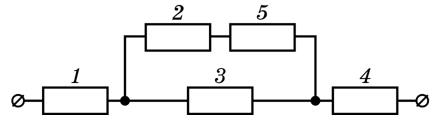
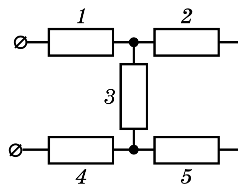


Рис. 2

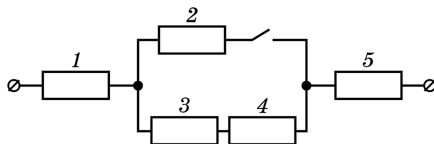
12. У ділянці електричного кола (див. рисунок) опори всіх резисторів однакові. Визначте силу струму I_4 в резисторі 4, якщо $I_2 = 0{,}3$ А.



А	Б	В	Г
0,3 А	0,4 А	0,6 А	0,9 А

Розв'язання. При паралельному з'єднанні двох ділянок кола сила струму обернено пропорційна опору ділянки. Оскільки $R_{2-5} = 2R_3$, отримуємо $I_3 = 2I_2$. Тоді сила струму в нерозгалуженій частині кола (див. рис. 2 до завдання 11) дорівнює: $I_4 = I_2 + I_3 = 3I_2 = 0{,}9$ А. Правильна відповідь Г.

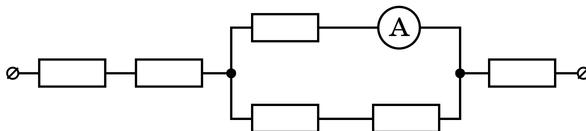
13. У ділянці електричного кола (див. рисунок) всі резистори однакові. Коли ключ розімкнено, опір цієї ділянки дорівнює 24 кОм. Визначте, яким стане опір ділянки після замикання ключа.



А	Б	В	Г
16 кОм	26 кОм	32 кОм	36 кОм

Розв'язання. Коли ключ розімкнено, в резисторі 2 струм не тече, а всі інші резистори з'єднані послідовно. Звідси визначаємо опір кожного резистора — він дорівнює $\frac{24\text{ кОм}}{4} = 6$ кОм. Після замикання ключа резистор 2 з'єднаний з ділянкою опором $R_{3-4} = 12$ кОм паралельно. Опір паралельної частини ділянки кола $R_{2-3-4} = \frac{R_2 R_{3-4}}{R_2 + R_{3-4}} = 4$ кОм. Опір усієї ділянки кола $R = R_{2-3-4} + R_1 + R_5 = 16$ кОм. Правильна відповідь А. (Зазначимо, що цю відповідь легко було вгадати, адже *замикання* ключа *не може* спричинити *збільшення* опору ділянки кола.)

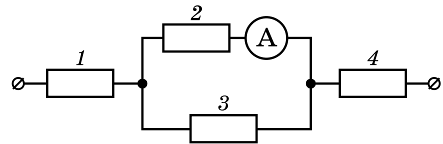
14. Амперметр (див. рисунок) показує силу струму $I_A = 1$ А. Визначте силу струму в нерозгалуженій частині кола, якщо опори всіх резисторів однакові, а амперметр можна вважати ідеальним.



А	Б	В	Г
1,5 А	2 А	2,5 А	3 А

Розв'язання. При паралельному з'єднанні сила струму в ділянці кола обернено пропорційна опорові цієї ділянки. Опір «нижньої» ділянки кола, яка на схемі розташована під амперметром, удвічі більший за опір «верхньої» ділянки (за умовою, опором амперметра можна знехтувати). Тому сила струму в «нижній» ділянці кола дорівнює $0{,}5I_А$, а сила струму в нерозгалуженій частині кола $I = I_А + 0{,}5I_А = 1{,}5I_А = 1{,}5$ (А). Зрозуміло, що відповідь не залежить від кількості резисторів та їхніх опорів у нерозгалуженій частині кола. Правильна відповідь А.

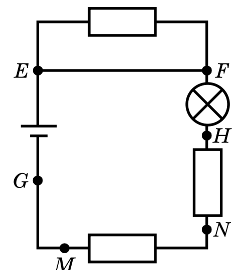
15. Визначте напругу на кінцях ділянки електричного кола (див. рисунок), якщо амперметр показує значення сили струму $I_А = 1{,}2$ А, а опори резисторів $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = R_4 = 10$ Ом; $R_3 = 30$ Ом. Амперметр вважайте ідеальним.



А	Б	В	Г
12 В	24 В	36 В	48 В

Розв'язання. Амперметр показує силу струму в резисторі 2. Напруга на резисторі 2 (і на резисторі 3) $U_{2-3} = I_А R_2 = 12$ В. Сила струму в резисторі 3 за законом Ома $I_3 = \frac{U_{2-3}}{R_3} = 0{,}4$ А, а сила струму в нерозгалуженій частині кола $I = I_А + I_3 = 1{,}6$ А. Резистори 1 і 4 з'єднані з ділянкою 2–3 послідовно, тому напруга на кінцях ділянки електричного кола $U = U_1 + U_{2-3} + U_4 = U_{2-3} + I(R_1 + R_4) = 36$ В. Правильна відповідь В.

16. Визначте, між якими точками електричного кола (див. рисунок) можна підключити вольтметр, щоб він показав напругу на джерелі струму.

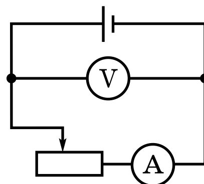


А	Б	В	Г
Між E і F	Між M і H	Між E і N	Між G і F

Розв'язання. Зазвичай вольтметр підключають безпосередньо до полюсів джерела струму або до найближчих до полюсів точок (у даному випадку це E і G). Проте якщо можна знехтувати опором з'єднувальних провідників

(зазвичай ця умова виконується), то потенціали точок, з'єднаних такими провідниками, однакові. У даному випадку це означає, що $\varphi_E = \varphi_F$; $\varphi_G = \varphi_M$. Тому $\varphi_E - \varphi_G = \varphi_F - \varphi_G$. Правильна відповідь Г.

17. Визначте, як зміняться покази вольтметра (U) та амперметра (I) (див. рисунок), якщо ковзний контакт реостата перемістити вліво. Внутрішній опір r джерела струму є порівнянним із опором реостата.



До завдань 17–19

А	Б	В	Г
U — збільшиться; I — збільшиться	U — збільшиться; I — зменшиться	U — зменшиться; I — збільшиться	U — зменшиться; I — зменшиться

Розв'язання. Переміщення ковзного контакту вліво спричиняє збільшення опору реостата та, відповідно, збільшення опору R зовнішнього кола. Із закону Ома для повного кола $I = \frac{\mathscr{E}}{R+r}$ випливає, що сила струму в колі зменшується (саме її показує амперметр). Для напруги U на полюсах джерела струму (саме її показує вольтметр) скористаємося наслідком закону Ома для повного кола: $U = \mathscr{E} - Ir$. Звідси випливає, що при зменшенні сили струму напруга зростає. Правильна відповідь Б. (Зазначимо: коли внутрішнім опором джерела можна знехтувати, напруга не змінюється зі зміною опору реостата: $U = \mathscr{E}$.)

18. У колі (див. рисунок до завдань 17–19) вольтметр показував $U_1 = 4{,}8$ В, амперметр $I_1 = 1{,}2$ А. Після переміщення ковзного контакту реостата покази приладів змінилися: $U_2 = 4{,}4$ В, $I_2 = 1{,}6$ А. Визначте за результатами цього досліду електрорушійну силу $\mathscr{E}$ джерела струму та його внутрішній опір r.

А	Б	В	Г
$\mathscr{E} = 6$ В; $r = 1$ Ом	$\mathscr{E} = 4{,}8$ В; $r = 0{,}4$ Ом	$\mathscr{E} = 5{,}2$ В; $r = 4$ Ом	$\mathscr{E} = 5{,}6$ В; $r = 1$ Ом

Розв'язання. Переміщення ковзного контакту реостата спричиняє зміну опору R зовнішнього кола. Характеристики джерела струму ($\mathscr{E}$ і r) є при цьому незмінними. Скористаємось (двічі) наслідком закону Ома для повного кола — запишемо співвідношення $U_1 = \mathscr{E} - I_1 r$ і $U_2 = \mathscr{E} - I_2 r$. Віднявши із першого рівняння друге, отримаємо $r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = 1$ Ом. Після цього підстановка дає $\mathscr{E} = 6$ В. Правильна відповідь А.

19. Коли в електричному колі (див. рисунок до завдань 17–19) переміщали ковзний контакт реостата, покази амперметра I та вольтметра U змінювалися. За результатами досліду накреслили графік (рис. 1). Визначте за графіком електрорушійну силу $\mathscr{E}$ джерела струму та його внутрішній опір r.

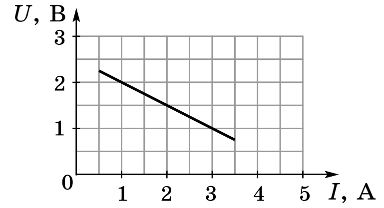


Рис. 1

А	Б	В	Г
$\mathscr{E}=2{,}2$ В; $r=1$ Ом	$\mathscr{E}=2{,}5$В; $r=0{,}5$ Ом	$\mathscr{E}=3$ В; $r=0{,}6$ Ом	$\mathscr{E}=2$ В; $r=2$ Ом

Розв'язання. Наведений на рис. 1 графік відповідає формулі $U=\mathscr{E}-Ir$. Значенню $I=0$ відповідає $U=\mathscr{E}$ (так званий режим розімкненого кола), а зменшення U до нуля відповідає значенню $I_{кз}=\frac{\mathscr{E}}{r}$ ($I_{кз}$ — сила струму короткого замикання; такою вона стає при $R\to 0$). Отже, якщо продовжити графік до перетину з осями координат, отримаємо ЕРС джерела струму та силу струму короткого замикання. У даному випадку $\mathscr{E}=2{,}5$ В, $I_{кз}=5$ А, звідки $r=0{,}5$ А. Правильна відповідь Б.

20. Два однакових конденсатори зарядили до напруги 120 В. Потім перший конденсатор розрядили через резистор, унаслідок чого цей резистор нагрівся на 0,54 °С. Другий конденсатор розрядили через три таких самих резистори, з'єднані паралельно. Визначте збільшення температури резисторів, з'єднаних паралельно.

А	Б	В	Г
0,06 °С	0,18 °С	0,54 °С	1,62 °С



Це, мабуть, задача-жарт. Адже для її розв'язання потрібний тільки здоровий глузд. Унаслідок розрядки другого конденсатора виділилася така сама енергія, як і внаслідок розрядки першого. Але тепер кожний з трьох резисторів отримав *третину* цієї енергії. Отже, температура кожного резистора збільшилася на $\frac{1}{3}\cdot 0{,}54\ ^\circ\text{C}=0{,}18\ ^\circ\text{C}$. Правильна відповідь Б.

21. Потужність струму в резисторі опором $R_1 = 60$ Ом становить $P_1 = 0{,}6$ Вт. Визначте потужність струму в резисторі опором $R_2 = 20$ Ом, якщо він з'єднаний з першим резистором: а) послідовно; б) паралельно.

А	Б	В	Г
а) 1,8 Вт; б) 1,8 Вт	а) 1,8 Вт; б) 0,2 Вт	а) 0,2 Вт; б) 1,8 Вт	а) 0,2 Вт; б) 0,2 Вт

Розв'язання. При послідовному з'єднанні резисторів сила струму I в них однакова, тому зручно скористатися формулою потужності струму $P = I^2 R$. З неї випливає, що $\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_2}{R_1}$ (потужність *прямо* пропорційна опорові резистора). При паралельному з'єднанні резисторів однаковою буде напруга U на них, тому зручно скористатися формулою $P = \frac{U^2}{R}$, з якої випливає $\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2}$ (потужність *обернено* пропорційна опорові резистора). Правильна відповідь В.

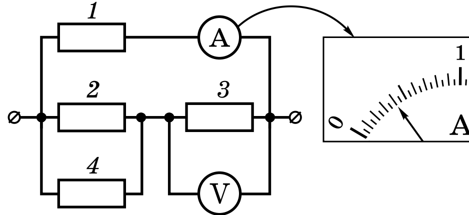
22. Два електричних нагрівники потужністю 1,6 кВт кожний, розраховані на напругу 120 В, з'єднали послідовно та приєднали до мережі з напругою 120 В. Визначте загальну потужність струму в нагрівниках, не враховуючи залежність їх електричного опору від температури.

А	Б	В	Г
0,4 кВт	0,8 кВт	3,2 кВт	6,4 кВт

Розв'язання. Напруга на кожному нагрівнику складає половину номінальної напруги, тому потужність кожного нагрівника становить лише чверть номінальної. Загальна ж потужність двох нагрівників становить половину номінальної потужності одного нагрівника, тобто 0,8 кВт. Цього висновку можна дійти й просто на основі формули $P = \frac{U^2}{R}$, урахувавши, що загальний опір двох нагрівників при послідовному з'єднанні вдвічі більший за опір кожного нагрівника. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. У ділянці електричного кола (див. рисунок) опори резисторів $R_1 = 50$ Ом; $R_2 = 40$ Ом; $R_3 = 16$ Ом; $R_4 = 60$ Ом. На рисунку подано положення стрілки амперметра. Визначте показ вольтметра, вважаючи прилади ідеальними.



А	Б	В	Г
4 В	6 В	8 В	12 В

Розв'язання. Амперметр показує силу струму в резисторі 1: $I_1 = 0{,}4$ А. Відповідно до закону Ома напруга на цьому резисторі $U_1 = I_1 R_1 = 20$ В. Ця напруга збігається з напругою на паралельній ділянці кола: $U_1 = U_{2-3-4}$. Оскільки $R_{2-3-4} = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} + R_3$, сила струму в цій ділянці кола (і в резисторі 3) $I_3 = \frac{U_1}{R_{2-3-4}}$, а напруга на резисторі 3 (саме її показує вольтметр) $U_3 = I_3 R_3 = U_1 \frac{R_3}{R_{2-3-4}} = 8$ В.

Правильна відповідь В.

2. Усі лампи в електричному колі (рис. 1) однакові. Залежністю електричного опору лампи від її розжарення можна знехтувати. Визначте варіант відповіді, у якому номери ламп розташовано за порядком зменшення яскравості світіння.

А	Б	В	Г
3, 1, 2, 5	1, 3, 2, 5	1, 3, 5, 4	1, 2, 4, 5

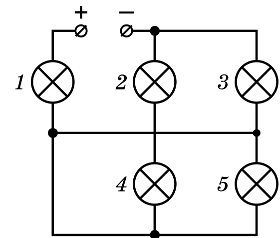


Рис. 1



За порядком зменшення яскравості світіння, — значить, за порядком зменшення сили струму. Якщо уважно подивитися на схему, то не треба нічого розраховувати. У центрі схеми немає точки, отже, немає і з'єднання провідників, лампи 2 і 4 з'єднані послідовно. Тому $I_2 = I_4$; розташувати номери ламп 2 і 4 «у порядку

зменшення...» неможливо! Відповідь Г не підходить... Лампа 1 стоїть у колі послідовно з джерелом струму; отже, I_1 не може бути менше від сили струму в будь-якій іншій лампі. Тому відповідь А теж не підходить. А ще видно: лампу 5 закорочено провідниками практично без опору, тому вона не горить і номер 5 має стояти в списку останнім! Це дозволяє відкинути відповідь В. Отже, правильна відповідь Б.

Коментар. Що ж, непогано. Щоб так розбиратися зі схемами, треба добре розумітися на них. Проте про всяк випадок наведемо й еквівалентну схему кола (рис. 2), яка дозволяє знайти точні співвідношення між силами струму в лампах (лампу 5, через яку не тече струм, на еквівалентній схемі не показано).

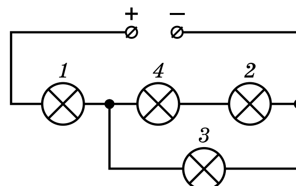


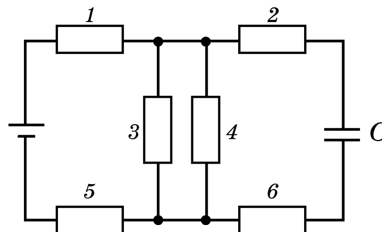
Рис. 2

3. Електричні нагрівники, на яких зазначено «220 В, 1200 Вт» і «220 В, 1800 Вт», з'єднали послідовно та приєднали до мережі з напругою $U = 220$ В. Визначте загальну потужність струму в нагрівниках, не враховуючи залежність електричного опору від температури.

А	Б	В	Г
600 Вт	720 Вт	1,5 кВт	3 кВт

Розв'язання. Позначимо P_1 і P_2 номінальні значення потужностей нагрівників. Із формули потужності струму $P = \frac{U^2}{R}$ випливає, що $R_1 = \frac{U^2}{P_1}$ і $R_2 = \frac{U^2}{P_2}$. Загальний опір нагрівників при послідовному з'єднанні $R = R_1 + R_2 = \frac{U^2\left(P_1 + P_2\right)}{P_1 P_2}$. Оскільки опір R більший за опір кожного нагрівника, загальна потужність P буде *меншою* від номінальної потужності кожного нагрівника. Ця потужність $P = \frac{U^2}{R} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} = 720$ Вт. Правильна відповідь Б.

4. В електричному колі (див. рисунок) ЕРС джерела струму $\mathscr{E} = 12$ В, внутрішній опір джерела струму $r = 1$ Ом. Електричні опори резисторів $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = R_3 = R_4 = 8$ Ом; $R_5 = R_6 = 2$ Ом; електроємність конденсатора $C = 1$ мкФ. Визначте (*у мікроджоулях*) енергію електричного поля конденсатора.



Розв'язання. Конденсатор розриває коло постійного струму, через нього (і, відповідно, через резистори 2 і 6) струм не тече. Замкнене коло утворюють джерело струму та резистори 1, 3, 4, 5. Однакові резистори 3 і 4 з'єднані паралельно, $R_{3-4} = \frac{R_3}{2} = 4$ Ом. Опір зовнішнього кола $R = R_1 + R_{3-4} + R_5 = 11$ Ом. Сила струму в колі $I = \frac{\mathscr{E}}{R+r} = 1$ А, а напруга на ділянці кола 3–4 $U_{3-4} = IR_{3-4} = 4$ В. Оскільки напруги на резисторах 2 і 6 дорівнюють нулю, напруга U_C на конденсаторі дорівнює U_{3-4}, тобто 4 В. Енергія електричного поля конденсатора $W = \frac{CU_C^2}{2} = 8 \cdot 10^{-6}$ Дж. *Відповідь:* 8.

5. Електричний нагрівник з опором $R = 21$ Ом приєднали до джерела струму з напругою $U = 210$ В. Нагрівання води масою $m = 1{,}4$ кг від $t_1 = 18$ °C до $t_2 = 63$ °C за допомогою цього нагрівника триває $\tau = 2{,}5$ хв. Визначте ККД цієї нагрівальної установки. Питома теплоємність води $c = 4{,}2\,\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

А	Б	В	Г
75 %	84 %	88 %	92 %

Розв'язання. ККД нагрівника $\eta = \frac{Q_\text{в}}{Q_\text{нагр}} \cdot 100\,\%$, де $Q_\text{в} = cm(t_2 - t_1)$ — кількість теплоти, яку отримала вода; $Q_\text{нагр} = \frac{U^2}{R}\tau$ — кількість теплоти, яка виділилася в нагрівнику внаслідок протікання струму. Звідси $\eta = \frac{cmR(t_2 - t_1)}{U^2\tau} \cdot 100\,\% = 84\,\%$. Правильна відповідь Б.

6. Вагон поїзда метрополітену має чотири електродвигуни, які працюють за напруги $U = 800$ В і сили струму $I = 150$ А. ККД двигунів $\eta = 75\,\%$. Швидкість рівномірного руху вагона по горизонтальному тунелю $\upsilon = 90$ км/год. Визначте силу F опору рухові.

А	Б	В	Г
9,6 кН	12,6 кН	14,4 кН	16,8 кН

Розв'язання. При рівномірному русі сила тяги дорівнює за модулем *F*. За час *t* вагон проходить відстань $s = vt$. ККД $\eta = \frac{A_{кор}}{A} \cdot 100\,\%$, де корисна робота $A_{кор} = Fs = Fvt$, а робота електричного струму $A = 4UIt$. Звідси $F = \frac{4UI}{v} \cdot \frac{\eta}{100\,\%} = 14{,}4$ кН. Правильна відповідь В.

7. До джерела струму приєднали реостат. Коли опір реостата змінили від $R_1 = 2$ Ом до $R_2 = 18$ Ом, потужність струму в реостаті не змінилася. Визначте внутрішній опір *r* джерела струму.

А	Б	В	Г
3 Ом	6 Ом	9 Ом	36 Ом

Розв'язання. Скористаємося законом Ома для повного кола $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ і формулою для потужності струму $P = I^2 R$. Отримаємо рівняння $\frac{R_1}{(r + R_1)^2} = \frac{R_2}{(r + R_2)^2}$, звідки випливає: $\sqrt{R_2}(r + R_1) = \sqrt{R_1}(r + R_2)$ і $r = \frac{R_2\sqrt{R_1} - R_1\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_2} - \sqrt{R_1}} = \sqrt{R_1 R_2} = 6$ Ом. Правильна відповідь Б.

8. До джерела струму приєднали реостат. Коли опір реостата збільшили від $R_1 = 2$ Ом до $R_2 = 6$ Ом, потужність струму в реостаті зменшилася від $P_1 = 8$ Вт до $P_2 = 6$ Вт. Визначте внутрішній опір *r* джерела струму.

А	Б	В	Г
2 Ом	4 Ом	6 Ом	8 Ом

Розв'язання. Скористаємося законом Ома для повного кола $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ і формулою для потужності струму $P = I^2 R$. Отримаємо рівняння $P_1 = \frac{\mathcal{E}^2 R_1}{(r + R_1)^2}$, $P_2 = \frac{\mathcal{E}^2 R_2}{(r + R_2)^2}$. Розділимо перше рівняння на друге: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1 (r + R_2)^2}{R_2 (r + R_1)^2}$. Звідси $\frac{r + R_2}{r + R_1} = \sqrt{\frac{P_1 R_2}{P_2 R_1}}$. Розв'язавши це рівняння, дістанемо: $r = \frac{R_2\sqrt{P_2 R_1} - R_1\sqrt{P_1 R_2}}{\sqrt{P_1 R_2} - \sqrt{P_2 R_1}} = 2$ Ом. Отже, правильна відповідь А.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте електричний опір алюмінієвого провідника довжиною 500 м і радіусом 1 мм. Питомий опір алюмінію дорівнює $2{,}8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; вважайте, що $\pi = \frac{28}{9}$.

А	Б	В	Г
2,25 Ом	4,5 Ом	9,0 Ом	22,5 Ом

2. Мідний провідник замінили іншим, теж мідним, довжина якого в 6 разів більша, а радіус в 2 рази більший. Визначте, як і в скільки разів змінився опір провідника внаслідок такої заміни.

А	Б	В	Г
Збільшився у 24 рази	Збільшився у 12 разів	Збільшився у 3 рази	Збільшився у 1,5 разу

3. Визначте довжину вольфрамового провідника з площею поперечного перерізу 0,1 мм^2, якщо його опір дорівнює 110 Ом, а питомий опір вольфраму становить $5{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

А	Б	В	Г
20 м	50 м	200 м	500 м

4. По провіднику, до якого прикладено напругу 36 В, за 5 хв пройшов заряд 150 Кл. Визначте опір провідника.

А	Б	В	Г
1,2 Ом	18 Ом	72 Ом	216 Ом

5. Визначте напруженість електричного поля в мідному провіднику, якщо площа поперечного перерізу провідника дорівнює $1{,}5\,\text{мм}^2$, а сила струму в ньому становить 0,6 А. Питомий опір міді дорівнює $1{,}7\cdot10^{-8}$ Ом·м.

А	Б	В	Г
6,8 мВ/м	27 мВ/м	54 мВ/м	153 В/м

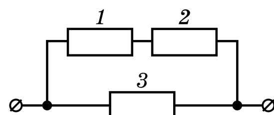
6. Ділянку кола опором R досліджують за допомогою амперметра та вольтметра. Визначте, якими мають бути опори амперметра R_A і вольтметра R_V, щоб ці прилади можна було вважати ідеальними.

А	Б	В	Г
$R_\text{A} \ll R$; $R_\text{V} \ll R$	$R_\text{A} \ll R$; $R_\text{V} \gg R$	$R_\text{A} \gg R$; $R_\text{V} \ll R$	$R_\text{A} \gg R$; $R_\text{V} \gg R$

7. Неізольований мідний провідник опором 160 Ом розрізали на 4 рівні частини та скрутили їх разом. Визначте опір отриманого джгута.

А	Б	В	Г
10 Ом	20 Ом	40 Ом	80 Ом

8. Виберіть формулу, за якою можна визначити опір R ділянки кола, схему якої подано на рисунку.



А	Б	В	Г
$R=\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2}+R_3$	$R=\dfrac{(R_1+R_2)R_3}{R_1+R_2+R_3}$	$R=\dfrac{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}{R_3}$	$R=\dfrac{R_1R_2R_3}{R_1R_2+R_2R_3+R_1R_3}$

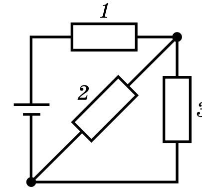
9. Резистори опорами $R_1=9$ Ом, $R_2=5$ Ом, $R_3=6$ Ом з'єднані послідовно. Визначте напругу на резисторі 3, якщо загальна напруга на ділянці кола дорівнює 40 В.

А	Б	В	Г
10 В	12 В	18 В	22 В

10. Резистори опорами $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 90$ Ом з'єднані паралельно. Визначте загальну силу струму в ділянці кола, якщо сила струму в резисторі 3 дорівнює 0,2 А.

А	Б	В	Г
0,3 А	0,6 А	0,9 А	1,1 А

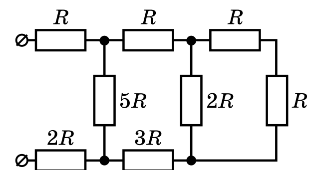
11. В електричному колі (див. рисунок) $R_1 = 30$ Ом; $R_2 = 60$ Ом; $R_3 = 20$ Ом. Визначте силу струму в резисторі 3, якщо напруга на резисторі 1 дорівнює 18 В.



А	Б	В	Г
0,15 А	0,3 А	0,45 А	0,6 А

12. Визначте опір ділянки кола (див. рисунок).

А	Б	В	Г
2,5R	3,5R	4,5R	5,5R



До завдань 12, 13

13. Визначте силу струму в резисторі опором 5R (див. рисунок), якщо сила струму в резисторі опором 3R дорівнює 0,45 А.

А	Б	В	Г
0,09 А	0,27 А	0,45 А	0,75 А

14. До джерела струму з ЕРС 4,5 В і внутрішнім опором 1 Ом приєднали резистор опором 8 Ом. Визначте силу струму в колі.

А	Б	В	Г
0,25 А	0,5 А	0,75 А	1,0 А

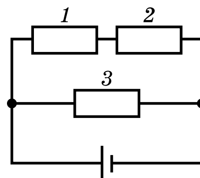
15. До гальванічного елемента з ЕРС 1,5 В і внутрішнім опором 1 Ом приєднали послідовно з'єднані резистори опорами 6 і 8 Ом. Визначте напругу на полюсах гальванічного елемента.

А	Б	В	Г
0,75 В	0,95 В	1,2 В	1,4 В

16. Сила струму короткого замикання джерела струму дорівнює 5 А, а якщо опір зовнішнього кола дорівнює 1,8 Ом, то сила струму в колі зменшується до 0,5 А. Визначте внутрішній опір джерела струму.

А	Б	В	Г
0,2 Ом	0,36 Ом	0,5 Ом	3,6 Ом

17. Визначте силу струму в резисторі 1 (див. рисунок), якщо $R_1 = 9$ Ом; $R_2 = 16$ Ом; $R_3 = 100$ Ом. ЕРС джерела струму дорівнює 21 В, його внутрішній опір — 1 Ом.



А	Б	В	Г
0,16 А	0,8 А	0,88 А	1,2 А

18. Коли до джерела струму приєднали резистор опором 2 Ом, сила струму в колі становила 2 А; коли резистор замінили на інший, опором 4 Ом, сила струму в колі зменшилася до 1,2 А. Визначте силу струму короткого замикання.

А	Б	В	Г
3 А	4 А	5 А	6 А

19. До джерела струму приєднані послідовно амперметр і реостат. Перемістивши ковзний контакт реостата, силу струму в колі зменшили від 1,8 до 0,9 А. При цьому напруга на полюсах джерела струму збільшилася від 2,4 до 4,2 В. Визначте ЕРС джерела струму.

А	Б	В	Г
4,5 В	6,0 В	7,5 В	8,0 В

20. До джерела струму приєднали реостат. Визначте графік залежності напруги U на реостаті від його опору R.

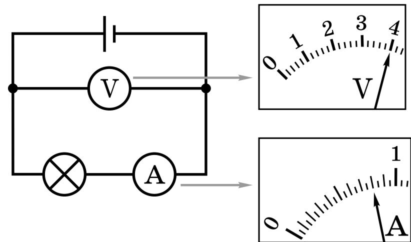
А	Б	В	Г
U, O, R	U, O, R	U, O, R	U, O, R

21. Визначте кількість теплоти, яка виділяється щохвилини в провіднику опором 50 Ом за сили струму 3 А.

А	Б	В	Г
9 кДж	27 кДж	450 кДж	540 кДж

22. За показами приладів (див. рисунок) визначте потужність струму в лампі.

А	Б	В	Г
0,2 Вт	0,31 Вт	3,2 Вт	5 Вт



23. Потужність струму в резисторі опором 25 Ом дорівнює 10 мВт. Визначте напругу на резисторі.

А	Б	В	Г
20 мВ	50 мВ	0,2 В	0,5 В

24. Резистор 1, що має опір 75 Ом, з'єднаний паралельно з резистором 2, що має опір 30 Ом. Визначте потужність струму в цій ділянці кола, якщо потужність струму в резисторі 1 дорівнює 0,6 Вт.

А	Б	В	Г
0,84 Вт	1,2 Вт	1,5 Вт	2,1 Вт

25. Підіймальний механізм переміщує вантаж масою 760 кг вгору зі швидкістю 1,5 м/с. Двигун механізму працює за напруги 380 В, сила струму в двигуні дорівнює 40 А. Визначте ККД механізму, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
60 %	75 %	80 %	90 %

26. Електричний нагрівник за певний час нагріває воду від 20 до 84 °С. Визначте, до якої температури нагрілася б вода за той самий час, якби напруга в мережі була вдвічі меншою. Втрати енергії та залежність електричного опору нагрівника від температури не враховуйте.

А	Б	В	Г
36 °С	42 °С	52 °С	64 °С

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Мідний провідник довжиною l і діаметром d замінюють мідним провідником інших розмірів. Установіть відповідність між розмірами нового провідника та зміною опору.

1 Довжина $2l$, діаметр $2d$
2 Довжина $4l$, діаметр $2d$
3 Довжина $2l$, діаметр $4d$
4 Довжина l, діаметр $2d$

А Опір не змінився
Б Опір зменшився у 8 разів
В Опір зменшився в 4 рази
Г Опір збільшився у 2 рази
Д Опір зменшився у 2 рази

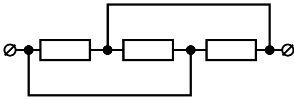
28. Установіть відповідність між фізичною величиною та виразом із одиниць фізичних величин.

1 Електричний опір
2 Електричний заряд
3 Питомий опір
4 Різниця потенціалів

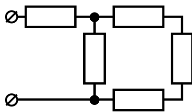
А $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^3}$
Б $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$
В $\frac{\text{Дж}}{\text{А}^2 \cdot \text{с}}$
Г $\text{А} \cdot \text{с}$
Д $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{А}^2 \cdot \text{с}^3}$

29. У поданих ділянках кола опір кожного резистора дорівнює 60 Ом. Установіть відповідність між ділянкою кола та опором ділянки кола.

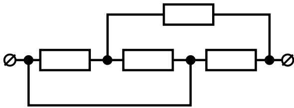
1



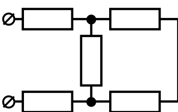
2



3



4



А 20 Ом

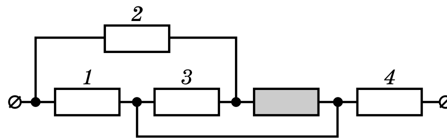
Б 160 Ом

В 36 Ом

Г 105 Ом

Д 72 Ом

30. У поданій ділянці кола (див. рисунок) всі резистори однакові. Потужність струму в резисторі, виділеному сірим кольором, дорівнює P. Установіть відповідність між номером резистора та потужністю струму в резисторі.



1 Резистор 1

2 Резистор 2

3 Резистор 3

4 Резистор 4

А P

Б $4P$

В $9P$

Г $16P$

Д $25P$

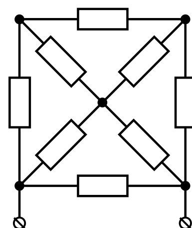
У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте (*в омах*) опір провідника, вольт-амперну характеристику якого подано на рисунку.



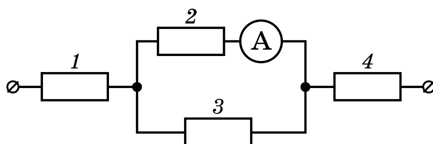
32. Маса мідного провідника становить 360 г, його електричний опір дорівнює 17 Ом. Визначте (*у метрах*) довжину провідника. Вважайте, що густина міді дорівнює $9000\ кг/м^3$, а питомий опір міді — $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

33. Визначте (*в омах*) опір ділянки кола (див. рисунок), якщо опір кожного резистора дорівнює 30 Ом.

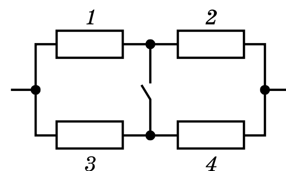


34. Електричний нагрівник опором 4,8 Ом, який працює за напруги 42 В, протягом 2 хв нагріває воду масою 500 г. Визначте (*у градусах Цельсія*) кінцеву температуру води, якщо початкова температура води дорівнює 20 °C. Питома теплоємність води становить $4{,}2\ \frac{кДж}{кг \cdot К}$; втрати енергії не враховуйте.

35. Амперметр (див. рисунок) показує 0,4 А. Визначте (*у ватах*) загальну потужність струму в ділянці кола, якщо $R_1 = 8$ Ом; $R_2 = 12$ Ом; $R_3 = 16$ Ом; $R_4 = 28$ Ом.



36. Визначте, у скільки разів збільшиться потужність струму в ділянці кола (див. рисунок), якщо замкнути ключ. Опори резисторів $R_1 = R_4 = 20$ Ом; $R_2 = R_3 = 50$ Ом. Напругу на ділянці кола вважайте незмінною.



БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: 2,

чи такий: 2,0

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: 2,5

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: –2,05

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 ,5

чи такий: 2, 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31 ,	33 ,	35 ,
32 ,	34 ,	36 ,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31 ,	33 ,	35 ,
32 ,	34 ,	36 ,

Розділ 10. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Що треба згадати

- **Сила струму:** $I = |q_0| nvS$, де q_0 — заряд вільної зарядженої частинки, n — концентрація таких частинок, v — середня швидкість упорядкованого руху таких частинок; S — площа поперечного перерізу провідника.

- **Залежність опору провідника від температури:** $R = R_0(1 + \alpha t)$, де R_0 — опір провідника за температури 0 °С; α — температурний коефіцієнт опору.

- **Перший закон електролізу:** $m = kq = kIt$, де m — маса речовини, що виділилася при електролізі; k — електрохімічний еквівалент речовини; $q = It$ — заряд, що пройшов через електроліт.

- **Другий закон електролізу:** $k = \frac{1}{eN_А} \cdot \frac{M}{n}$, де k — електрохімічний еквівалент речовини; e — елементарний електричний заряд; $N_А$ — стала Авогадро; M — молярна маса речовини; n — модуль заряду йона в елементарних електричних зарядах (валентність речовини).

- **Умова йонізації електронним ударом:** $W_к \quad A_й$, де $W_к$ — кінетична енергія електрона; $A_й$ — робота йонізації.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. За температури 0 °С опір металевого провідника $R_0 = 20$ Ом, а за температури $t = 300$ °С його опір $R = 38$ Ом. Визначте температурний коефіцієнт опору α даного металу.

А	Б	В	Г
$3 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$	$6 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$ К$^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$ К$^{-1}$

Розв'язання. Можна просто згадати фізичний зміст коефіцієнта опору α: цей коефіцієнт чисельно дорівнює відносній зміні опору внаслідок збільшення

температури на 1 К. У даному випадку $R = 1{,}9R_0$, тобто нагрівання на 300 К спричиняє відносне збільшення опору на 0,9. Отже, нагрівання на 1 К спричиняє відносне збільшення опору на $\frac{0{,}9}{300} = 3 \cdot 10^{-3}$. Зрозуміло, що ту саму відповідь можна отримати з формули $R = R_0(1 + \alpha t)$. Правильна відповідь А.

2. Охолоджуючи зразок, досліджують зв'язок між напругою U на ньому та силою струму I. При охолодженні зразка до певної температури відбувається перехід у надпровідний стан (опір R стрибкоподібно зменшується до нуля). Це означає, що...

А	**Б**	**В**	**Г**
... $I \to \infty$ при $U = \text{const}$	... $U \to \infty$ при $I \neq 0$	... $I \to 0$ при $U = \text{const}$	... $U \to 0$ при $I \neq 0$

Розв'язання. Варіант $I \to \infty$ цілком виключений: якщо сила струму перевищує певну межу, надпровідність просто зникає. Зникнення ж опору означає, що припиняється перетворення енергії струму на внутрішню енергію речовини (теплова дія струму в надпровідниках відсутня, це випливає хоча б із закону Джоуля — Ленца $Q = I^2Rt$). Тому для *підтримання* в надпровіднику постійного струму не потрібне надходження енергії (зокрема, не потрібне електричне поле для підтримання упорядкованого руху вільних електронів). Отже, напруга дорівнює нулю. Правильна відповідь Г.

3. Визначте речовини, які проводять струм тим краще, чим вища температура.

А	**Б**	**В**	**Г**
Метали, розчини електролітів	Напівпровідники, розчини електролітів	Метали, напівпровідники	Метали, розріджені гази

Розв'язання. Щоб вибрати правильну відповідь, досить урахувати збільшення електричного опору металів при збільшенні температури (це відбувається через посилення теплових коливань йонів кристалічної ґратки). У напівпровідниках і розчинах електролітів підвищення температури спричиняє значне збільшення кількості вільних носіїв заряду (вільних електронів і дірок у напівпровідниках, позитивних і негативних йонів у розчинах електролітів). Отже, правильна відповідь Б.

4. Визначте, як і в скільки разів зміниться маса m речовини, яка виділяється на електроді, якщо час t електролізу збільшити в 4 рази, а силу струму I в електроліті зменшити в 2,5 разу.

А	Б	В	Г
Зменшиться в 10 разів	Зменшиться в 1,6 разу	Збільшиться в 10 разів	Збільшиться в 1,6 разу

Розв'язання. Скористаємося першим законом електролізу: $m = kIt$, де k — електрохімічний еквівалент речовини. Після зміни часу та сили струму маса речовини $m_1 = k \cdot \frac{I}{2,5} \cdot 4t = 1,6kIt = 1,6m$. Правильна відповідь Г.

5. Учень здійснював електроліз водного розчину $CuSO_4$ протягом часу $t = 40$ хв за сили струму $I = 1$ А. Зважування показало, що маса катода збільшилася від $m_1 = 18,54$ г до $m_2 = 19,26$ г. Визначте, яке значення електрохімічного еквіваленту міді отримав учень за результатами цього досліду.

А	Б	В	Г
$1,5 \cdot 10^{-7}\ \frac{кг}{Кл}$	$3 \cdot 10^{-7}\ \frac{кг}{Кл}$	$6 \cdot 10^{-7}\ \frac{кг}{Кл}$	$1,2 \cdot 10^{-6}\ \frac{кг}{Кл}$

Розв'язання. Маса міді, яка осіла на катоді, за першим законом електролізу становить $m = kIt$. Отже, $m_2 - m_1 = kIt$. Звідси $k = \frac{m_2 - m_1}{It} = 3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл. Правильна відповідь Б.

6. Нікелювання сталевої пластинки площею $S = 30$ см^2 тривало протягом часу $t = 500$ с за сили струму $I = 0,9$ А. Визначте товщину h шару нікелю на пластинці, вважаючи, що густина нікелю $\rho = 9 \cdot 10^3$ кг/м^3; електрохімічний еквівалент $k = 3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

А	Б	В	Г
2 мкм	5 мкм	20 мкм	50 мкм

Розв'язання. Маса нікелю, який осів на поверхні пластинки, за першим законом електролізу становить $m = kIt$. Інакше цю масу можна записати через товщину шару нікелю: $m = \rho Sh$. Звідси $h = \frac{kIt}{\rho S} = 5 \cdot 10^{-6}$ м. Правильна відповідь Б.

7. Визначте масу m міді, яка виділиться на катоді при електролізі розчину солі CuCl протягом часу $t = 10$ хв за сили струму $I = 0,9$ А. Молярна маса міді $M = 64 \cdot 10^{-3}$ кг/моль; елементарний електричний заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; стала Авогадро $N_А = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
0,36 г	0,54 г	0,72 г	0,90 г

Розв'язання. За першим законом електролізу $m = kIt$. Оскільки електрохімічний еквівалент k в умові не наведений, скористаємося другим законом електролізу: $k = \frac{1}{eN_А} \cdot \frac{M}{n}$. У даному хімічному з'єднанні мідь одновалентна (заряд йона дорівнює e), тобто $n = 1$. Звідси $m = \frac{MIt}{eN_А n} = 0,36$ г. Правильна відповідь А.

8. Два паралельні плоскі електроди розмістили в трубці з розрідженим неоном і почали підвищувати між електродами напругу. Визначте, від чого залежить напруга, за якої почнеться самостійний розряд.

А	Б	В	Г
Від площі електродів і відстані між ними	Від концентрації молекул і площі електродів	Від концентрації молекул і відстані між електродами	Від концентрації молекул і об'єму трубки

Розв'язання. Самостійний розряд починається, коли стає можливою йонізація електронним ударом: електрон, який вилітає з атома, під дією електричного поля розганяється до наступного зіткнення настільки, що може при цьому зіткненні йонізувати нейтральний атом. Набута електроном кінетична енергія $W_к$ дорівнює роботі електричного поля: $W_к = Fl = eEl$, де e — елементарний електричний заряд; E — напруженість електричного поля; l — довжина вільного пробігу електрона. Умова виникнення самостійного розряду має вигляд $eEl > A_й$, де $A_й$ — робота йонізації атома газу. Отже, для *даного* газу необхідна напруженість поля залежить *тільки* від l, яка визначається концентрацією молекул газу. Необхідна напруга між електродами $U = Ed$ залежить ще й від відстані d між електродами. Правильна відповідь В.

9. Визначте систему заряджених частинок, яку НЕ можна вважати плазмою.

А	Б	В	Г
Пара ртуті всередині люмінесцентної лампи	Пучок електронів в електронно-променевій трубці	Йонізоване повітря всередині полум'я	Повітря у верхніх шарах атмосфери, йонізоване космічним випромінюванням

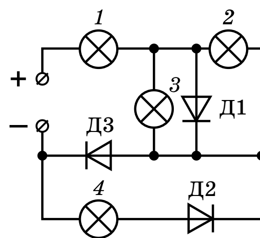
Розв'язання. Плазмою називають систему заряджених частинок, у цілому *електронейтральну*. Цю умову виконано в усіх випадках, крім випадку Б (пучок електронів має негативний заряд). Отже, правильна відповідь Б.

10. Визначте хімічний елемент, атоми якого можна застосовувати як донорну домішку в кристалі Германію.

А	Б	В	Г
Станум	Фосфор	Плюмбум	Індій

Розв'язання. Практично кожний атом донорної домішки дає вільний електрон (тому кристал з донорною домішкою має електронну провідність). У кристалі Германію кожний атом має чотири найближчих сусіди, з якими він утворює ковалентні зв'язки. Отже, для виникнення «зайвого» електрона в домішкового атома має бути 5 валентних електронів. Таким чином, необхідний елемент треба шукати у V групі Періодичної системи хімічних елементів. Правильна відповідь Б.

11. Визначте, яка з однакових ламп (див. рисунок) світить.



А	Б	В	Г
Лампа 1	Лампа 2	Лампа 3	Лампа 4



Власне кажучи, відповідь очевидна. Лампа 1 приєднана до джерела струму послідовно. Отже, якщо б вона не світила, то не могли б світити й інші лампи. Утім, перевіримо. Через діод Д1 струм тече в пропускному напрямку, отже, опір діода практично дорівнює нулю (подумки можна замінити цей діод просто з'єднувальним провідником). Тому цей діод закорочує лампи 2 і 3. А от через діод Д2 струм мав би протікати вліво, що неможливо. Тому струм не тече і в лампі 4, послідовно з'єднаній з діодом Д2 (цю ділянку кола до того ж закорочує горизонтальний провідник з діодом Д3). Отже, світить тільки лампа 1. Правильна відповідь А.

Другий рівень

1. Визначте середню швидкість v упорядкованого руху електронів у мідному провіднику з площею поперечного перерізу $S = 2$ мм^2, якщо сила струму в провіднику $I = 5{,}4$ А. Вважайте, що на кожен йон припадає один електрон провідності; молярна маса міді $M = 0{,}064$ кг/моль; густина міді $\rho = 9 \cdot 10^3$ кг/м^3; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; стала Авогадро $N_А = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
0,2 мм/с	0,3 мм/с	0,4 мм/с	0,5 мм/с

Розв'язання. Сила струму в провіднику $I = envS$, де n — концентрація вільних електронів. За умовою, ця концентрація не відрізняється від концентрації йонів у кристалі. Тому $n = \frac{\rho N_А}{M}$, звідки $v = \frac{IM}{eN_А \rho S} = 2 \cdot 10^{-4}$ м/с. Правильна відповідь А.

2. За допомогою електролізу слабкого розчину сірчаної кислоти отримують водень для наповнення за нормальних умов дослідницького аеростата об'ємом 1,12 м^3. Визначте, який заряд q має пройти через розчин. Елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; стала Авогадро $N_А = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
1,6 МКл	3,2 МКл	6,4 МКл	9,6 МКл

Розв'язання. За нормальних умов об'єм кожного моля розрідженого газу становить 22,4 дм^3. Отже, для заповнення аеростата потрібно $\nu = 50$ моль *молекулярного* водню. Відразу після електролізу отримуємо атомарний водень з молярною масою $M = 10^{-3}$ кг/моль. Потрібна маса водню $m = 2\nu M$. Скориставшись першим і другим законами електролізу, запишемо співвідношення $m = kIt = \frac{1}{eN_А} \cdot \frac{M}{n} \cdot q$, звідки $q = \frac{eN_А nm}{M} = 2eN_А \nu n = 9{,}6 \cdot 10^6$ Кл. Ми врахували, що для водню $n = 1$.

Правильна відповідь Г.

3. В електронно-променевій трубці пучок електронів, які пройшли прискорюючу різницю потенціалів $U_1 = 500$ В, проходить між пластинами плоского конденсатора, напруга на яких $U_2 = 16$ В. Довжина пластин $l = 25$ мм, відстань між ними $d = 5$ мм. Початкова швидкість руху електронів напрямлена паралельно пластинам. Визначте зміщення s електронів у напрямку, перпендикулярному до пластин, за час руху в конденсаторі.

А	Б	В	Г
0,25 мм	0,5 мм	1 мм	2 мм

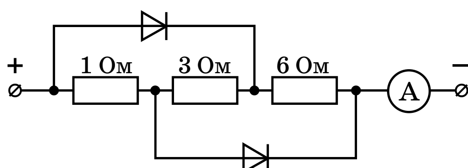
Розв'язання. Електрон рухається в конденсаторі під дією сили, перпендикулярної до пластин. Модуль цієї сили $F = eE = \frac{eU_2}{d}$. Електрон рухається по параболі (це нагадує рух тіла, яке кинули горизонтально). Зміщення $s = \frac{at^2}{2}$, де прискорення руху електрона $a = \frac{F}{m} = \frac{eU_2}{md}$, а час руху між пластинами $t = \frac{l}{v_0}$. Звідси $s = \frac{eU_2 l^2}{2dmv_0^2}$. Тепер візьмемо до уваги, що початкова швидкість v_0 руху електронів при вході в конденсатор визначається прискорюючою напругою: $\frac{mv_0^2}{2} = eU_1$. Отримаємо $s = \frac{U_2 l^2}{4dU_1} = 10^{-3}$ м. Правильна відповідь В.

4. Визначте, як зміниться концентрація вільних електронів $n_е$ і концентрація дірок $n_д$, якщо в кристал Силіцію додати домішку Індію.

А	Б	В	Г
$n_е$ зменшиться; $n_д$ збільшиться	$n_е$ не зміниться; $n_д$ збільшиться	$n_е$ збільшиться; $n_д$ зменшиться	$n_е$ не зміниться; $n_д$ зменшиться

Розв'язання. Індій (елемент III групи Періодичної системи хімічних елементів) є акцепторною домішкою для Силіцію (елемента IV групи Періодичної системи хімічних елементів). Отже, така домішка збільшить концентрацію дірок $n_д$. На перший погляд може здатися, що концентрація вільних електронів $n_е$ при цьому не зміниться. Проте значне збільшення $n_д$ спричиняє підвищення ймовірності зустрічі вільного електрона з діркою та рекомбінації, тобто підвищується «ризик загибелі» вільного електрона. Тому $n_е$ зменшиться. Правильна відповідь А.

5. Амперметр (див. рисунок) показує силу струму 1,8 А. Визначте, якою стане сила струму в колі, якщо змінити полярність джерела струму. Напівпровідникові діоди й амперметр вважайте ідеальними, внутрішнім опором джерела струму можна знехтувати.



А	Б	В	Г
0,06 А	0,12 А	0,18 А	0,54 А

Розв'язання. Струм протікає через обидва діоди в пропускних напрямках. У такому випадку ідеальний діод можна розглядати як провідник без опору. Тому потенціали точок, які з'єднує діод, однакові; ці точки можна подумки об'єднати та розглядати як *один* вузол кола. Якщо врахувати, що амперметр теж має нехтовно малий опір, то виходить, що в даному колі взагалі є лише два вузли, а всі резистори з'єднані паралельно. Визначимо загальний опір кола: $\frac{1}{R_1}=\frac{1}{1}+\frac{1}{3}+\frac{1}{6}=\frac{3}{2}$ (Ом$^{-1}$), звідки $R_1=\frac{2}{3}$ Ом. Якщо змінити полярність джерела струму, то діоди не пропускатимуть струм, тобто відповідні ділянки кола будуть розірвані. Резистори в такому випадку будуть з'єднані послідовно, їх загальний опір $R_2=1+3+6=10$ (Ом). Отже, загальний опір кола збільшиться в 15 разів, тому сила струму в колі зменшиться в 15 разів (до 0,12 А). Правильна відповідь Б.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. За температури 0 °С опір металевого провідника дорівнює 6 Ом, а за температури 200 °С його опір збільшиться до 9 Ом. Визначте температурний коефіцієнт опору металу, з якого виготовлений провідник.

А	Б	В	Г
$1{,}2\cdot10^{-3}$ К$^{-1}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$ К$^{-1}$	$2{,}5\cdot10^{-3}$ К$^{-1}$	$3{,}0\cdot10^{-3}$ К$^{-1}$

2. За температури 0 °С опір електричного нагрівника дорівнює R_0. Визначте потужність P нагрівника, якщо його робоча температура t, а температурний коефіцієнт опору α. Нагрівник працює за напруги U.

А	Б	В	Г
$P=\frac{U^2(1+\alpha t)}{R_0}$	$P=\frac{U^2}{R_0(1+\alpha t)}$	$P=\frac{U^2(1-\alpha t)}{R_0}$	$P=\frac{U^2}{R_0(1-\alpha t)}$

3. Робоча температура вольфрамової нитки розжарення лампи, на балоні якої написано «220 В, 40 Вт», дорівнює 2500 °С. Визначте опір вольфрамової нитки за температури 0 °С, вважаючи, що температурний коефіцієнт опору вольфраму дорівнює $4\cdot10^{-3}$ К$^{-1}$.

А	Б	В	Г
11 Ом	55 Ом	110 Ом	550 Ом

4. Визначте, якій речовині може відповідати поданий на рис. 1 графік залежності питомого опору ρ від абсолютної температури T.

А	Б	В	Г
Мідь	Латунь	Вугілля	Ртуть

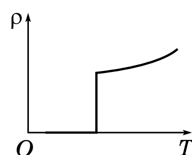


Рис. 1

5. Визначте, які два процеси в *розчині електроліту* можуть компенсувати один одного.

А	Б	В	Г
Йонізація та електроліз	Електроліз і розчинення	Електролітична дисоціація та рекомбінація	Йонізація та рекомбінація

6. До цинкових електродів, занурених у розчин солі цинку, приклали постійну напругу. Через певний час...

А	Б	В	Г
...маса обох електродів збільшиться	...маса анода зменшиться, маса катода збільшиться	...маса обох електродів зменшиться	...маса катода зменшиться, маса анода збільшиться

7. Визначте, протягом якого часу при електролізі буде отримано 3,3 г срібла, якщо сила струму становить 2,5 А. Електрохімічний еквівалент срібла дорівнює $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл.

А	Б	В	Г
5 хв	10 хв	15 хв	20 хв

8. Визначте силу струму в електролізній ванні, якщо для отримання 39,6 г міді знадобився час 40 хв. Електрохімічний еквівалент міді дорівнює $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

А	Б	В	Г
2 А	5 А	20 А	50 А

9. Нікелювання сталевої пластинки площею $50\,\text{см}^2$ здійснювали за сили струму 0,75 А. На поверхні утворився шар нікелю завтовшки 20 мкм. Визначте тривалість електролізу, вважаючи, що густина нікелю дорівнює $9 \cdot 10^3$ кг/м^3, а його електрохімічний еквівалент — $3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

А	Б	В	Г
500 с	1000 с	2000 с	4000 с

10. Три електролізні ванни, з'єднані послідовно, містять розчини різних солей: 1 — $CuCl$, 2 — $AgCl$, 3 — $CuCl_2$. Порівняйте маси m_1, m_2, m_3 хлору, який виділиться в кожній ванні внаслідок електролізу.

А	Б	В	Г
$m_1 = m_2 = m_3$	$m_1 < m_2 < m_3$	$m_1 < m_2 = m_3$	$m_1 = m_2 < m_3$

11. Визначте тип газового розряду, поданого на рис 2.

А	Б	В	Г
Тліючий розряд	Іскровий розряд	Дуговий розряд	Коронний розряд

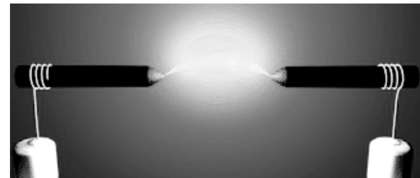


Рис. 2

12. Визначте тип газового розряду, поданого на рис. 3.

А	Б	В	Г
Тліючий розряд	Іскровий розряд	Дуговий розряд	Коронний розряд



Рис. 3

13. Визначте тип газового розряду, поданого на рис. 4.

А	Б	В	Г
Іскровий розряд	Тліючий розряд	Коронний розряд	Дуговий розряд



Рис. 4

14. Визначте тип газового розряду, поданого на рис. 5 і 6.

А	Б	В	Г
Іскровий розряд	Тліючий розряд	Коронний розряд	Дуговий розряд



Рис. 5



Рис. 6

15. Визначте, який тип газового розряду може спричиняти втрати електроенергії в лініях електропередачі з високою напругою.

А	Б	В	Г
Іскровий розряд	Несамостійний розряд	Тліючий розряд	Коронний розряд

16. Визначте, за якої обов'язкової умови можна вважати, що в посудині вакуум.

А	Б	В	Г
Зіткнення молекул зі стінками частіші, ніж зіткнення між молекулами	У посудині взагалі відсутні молекули речовини	Довжина вільного пробігу молекул набагато більша за їх розміри	Відстань між молекулами газу набагато більша за розміри молекул

17. Термоелектронна емісія — це виліт…

А	Б	В	Г
…електронів з поверхні розпеченого металу	…позитивних йонів з анода внаслідок ударів електронів	…електронів з поверхні охолодженого металу	…негативних йонів з катода внаслідок ударів електронів

18. Визначте швидкість руху електронів поблизу анода електронної лампи, якщо напруга між катодом і анодом дорівнює 45 В, а швидкістю руху електрона після його вильоту з поверхні катода можна знехтувати. Елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл; маса електрона становить $9\cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
2000 км/с	3000 км/с	4000 км/с	6000 км/с

19. Відстань між катодом і анодом вакуумного діода дорівнює 8 мм, електричне поле можна вважати однорідним. Визначте час руху електрона від катода до анода за анодної напруги 180 В, якщо початковою швидкістю руху електрона можна знехтувати. Елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл; маса електрона становить $9\cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
1 нс	2 нс	4 нс	8 нс

20. На рис. 7 схематично подано вигляд екрана електронно-променевої трубки осцилографа та розташування пластин, які дозволяють керувати переміщенням світлої плями по екрану. Визначте, за яких знаків зарядів пластин пляма переміститься з центру екрана в точку *A*.

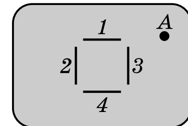
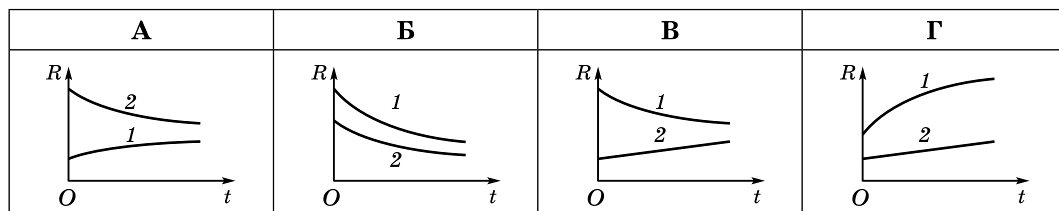


Рис. 7

А	Б	В	Г
1 +, 2 +, 3 –, 4 –	1 –, 2 +, 3 –, 4 +	1 –, 2 –, 3 +, 4 +	1 +, 2 –, 3 +, 4 –

21. Експериментатор дослідив залежність опору R напівпровідника 1 та металу 2 від температури t. Визначте, який графік накреслено за результатами цього досліду.

А	Б	В	Г



22. На рис. 8 подано вольт-амперні характеристики трьох однакових напівпровідникових терморезисторів. Порівняйте температури T_1, T_2, T_3 цих терморезисторів.

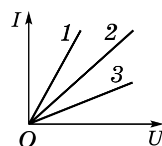


Рис. 8

А	Б	В	Г
$T_1 > T_2 > T_3$	$T_1 > T_3 > T_2$	$T_3 > T_2 > T_1$	$T_3 > T_1 > T_2$

23. Визначте хімічний елемент, атоми якого можуть бути акцепторною домішкою в кристалі Силіцію.

А	Б	В	Г
Галій	Титан	Карбон	Ніобій

24. Визначте, яка лампа (рис. 9) світить.

А	Б	В	Г
Лампа 1	Лампа 2	Лампа 3	Лампа 4

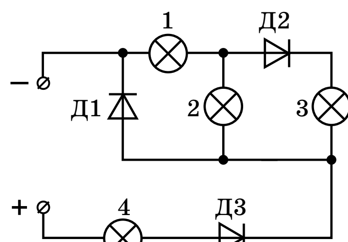


Рис. 9

25. Сила струму в колі (рис. 10) дорівнює 0,45 А. Визначте, якою стане сила струму, якщо змінити полярність джерела струму. Напівпровідникові діоди вважайте ідеальними; внутрішній опір джерела струму дорівнює 1 Ом.

А	Б	В	Г
0,09 А	0,15 А	1,35 А	2,25 А

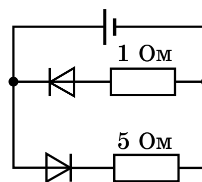


Рис. 10

26. Сила струму в колі (рис. 11) дорівнює 0,6 А. Визначте, якою стане сила струму, якщо змінити полярність джерела струму. Напівпровідниковий діод вважайте ідеальним; внутрішній опір джерела струму дорівнює 1 Ом.

А	Б	В	Г
0,15 А	0,48 А	0,54 А	0,75 А

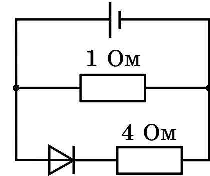


Рис. 11

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між провідником і діями електричного струму, які можна спостерігати в провіднику.

1 Розплав солі NaCl
2 Розріджений неон
3 Ртуть у рідкому стані
4 Ртуть у надпровідному стані

А Тільки магнітна дія
Б Теплова, світлова, магнітна дії
В Теплова, магнітна, хімічна дії
Г Тільки теплова дія
Д Тільки теплова та магнітна дії

28. Установіть відповідність між речовиною та вільними носіями заряду в речовині.

1 Чистий кремній
2 Кристалічна мідь
3 Газова суміш у гелій-неоновому лазері
4 Розчин $CuSO_4$ у воді

А Тільки вільні електрони
Б Вільні електрони та дірки
В Вільні електрони та негативні йони
Г Вільні електрони та позитивні йони
Д Позитивні та негативні йони

29. Установіть відповідність між технологічним процесом і фізичним явищем.

1 Отримання технічно чистої міді
2 Очистка газових викидів теплових електростанцій від золи
3 Підсилення слабких електричних сигналів
4 Отримання надвисоких температур

А Струм у плазмі
Б Струм у металах
В Струм у вакуумі та напівпровідниках
Г Електроліз
Д Коронний газовий розряд

30. Установіть відповідність між технічним пристроєм та фізичним явищем.

1 Напівпровідниковий діод
2 Енергозберігаюча лампа
3 Вакуумний діод
4 Електрозварювальна установка

А Термоелектронна емісія
Б Дуговий розряд у газі
В Іскровий розряд у газі
Г Тліючий розряд у розрідженій парі ртуті
Д Струм через електронно-дірковий перехід

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Середня швидкість упорядкованого руху електронів у мідному провіднику з площею поперечного перерізу $1\,мм^2$ дорівнює 0,1 мм/с. Визначте (*в амперах*) силу струму в провіднику. Вважайте, що на кожен йон припадає один електрон провідності; молярна маса міді дорівнює 0,064 кг/моль; густина міді становить $9 \cdot 10^3$ кг/м^3; елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

32. Електроліз розчину $CuSO_4$ здійснюють за напруги 9,9 В. Визначте (*у мегаджоулях*) витрату електроенергії на отримання 1 кг чистої міді, якщо електрохімічний еквівалент міді дорівнює $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

33. Нікелювання виробу з площею поверхні $120\,см^2$ здійснювали протягом години. Товщина утвореного шару нікелю дорівнює 15 мкм. Визначте (*в амперах*) силу струму під час електролізу. Вважайте, що густина нікелю дорівнює $9 \cdot 10^3$ кг/м^3; електрохімічний еквівалент нікелю становить $3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл.

34. Визначте (*у кельвінах*) температуру атомарного водню, за якої середня кінетична енергія руху атомів становить 1,5 % енергії йонізації. Вважайте, що потенціал йонізації атомарного водню дорівнює 13,8 В; стала Больцмана — $1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К; елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

35. Електрони, які пройшли прискорюючу різницю потенціалів 120 В, пролітають між пластинами плоского конденсатора. Початкова швидкість руху електронів напрямлена паралельно пластинам; електрони влітають у конденсатор поблизу однієї пластини, а вилітають поблизу іншої. Визначте (*у вольтах*) напругу на конденсаторі, якщо електрони вилітають під кутом 45° до початкового напрямку руху.

36. ЕРС джерела струму (рис. 12) дорівнює 1,2 В, його внутрішній опір становить 0,75 Ом. Визначте (*в амперах*), яку силу струму показує амперметр. Напівпровідникові діоди та амперметр вважайте ідеальними.

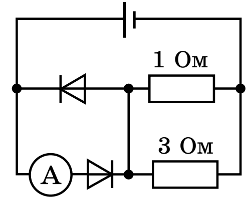


Рис. 12

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | | 2 , | | |

чи такий: | | | | 2 , 0 | | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | | 2 , 5 | | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | | – | 2 , 0 | 5 | |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

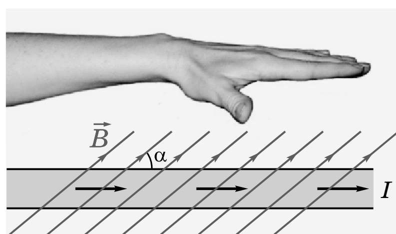
Розділ 11. МАГНІТНЕ ПОЛЕ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

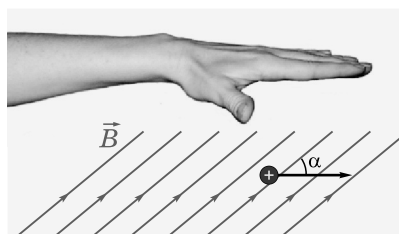
Що треба згадати

- **Сила Ампера, яка діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля:** $F_А = BIl\sin\alpha$, де $\vec{B}$ — магнітна індукція поля; I — сила струму; l — довжина провідника; α — кут між магнітною індукцією поля та напрямком струму.

- **Сила Лоренца, яка діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля:** $F_Л = |q|vB\sin\alpha$, де q — заряд частинки; $\vec{v}$ — швидкість руху частинки; α — кут між магнітною індукцією та напрямком руху частинки.

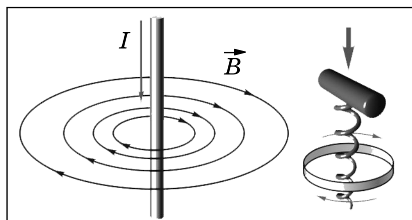
- **Правило лівої руки** (дозволяє визначити напрямок сили Ампера або сили Лоренца):

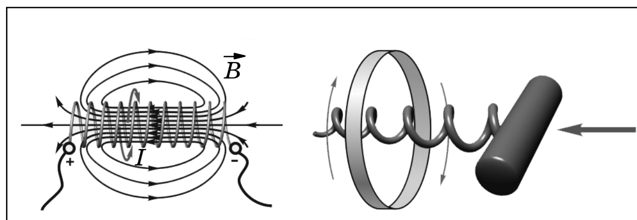




Відігнутий великий палець лівої руки показує напрямок сили (для негативно зарядженої частинки напрямок сили буде протилежним).

- **Правило свердлика** (встановлює зв’язок між напрямками струму та магнітного поля цього струму):



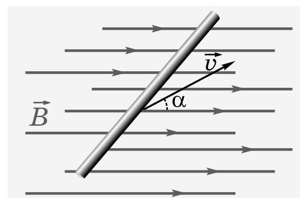


- **Магнітна проникність речовини:** $\mu = \dfrac{B}{B_0}$, де B_0 і B — магнітна індукція поля, яке створюється тим самим струмом відповідно у вакуумі та в речовині.

- **Магнітний потік через замкнений контур:** $\Phi = BS\cos\alpha = B_n S$, де B_n — проекція магнітної індукції $\vec{B}$ на вектор $\vec{n}$ нормалі до площини контуру; S — площа контуру; α — кут між напрямками $\vec{B}$ і $\vec{n}$.

- **Закон електромагнітної індукції:** $\mathscr{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, де $\mathscr{E}_i$ — ЕРС індукції в контурі; $\Delta\Phi$ — зміна магнітного потоку через цей контур за інтервал часу Δt.

- **ЕРС індукції в провіднику довжиною l, який рухається зі швидкістю v в магнітному полі:** $\mathscr{E}_i = vBl\sin\alpha$, де $\vec{B}$ — індукція магнітного поля; α — кут між напрямком руху провідника та індукцією магнітного поля.



- **Індуктивність замкненого контуру:** $L = \dfrac{\Phi}{I}$, де Φ — магнітний потік через замкнений контур, зумовлений протіканням у контурі струму, якщо сила струму дорівнює I.

- **ЕРС самоіндукції:** $\mathscr{E}_{is} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$, де $\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ — швидкість зміни сили струму.

- **Енергія магнітного поля струму:** $W = \dfrac{LI^2}{2}$.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

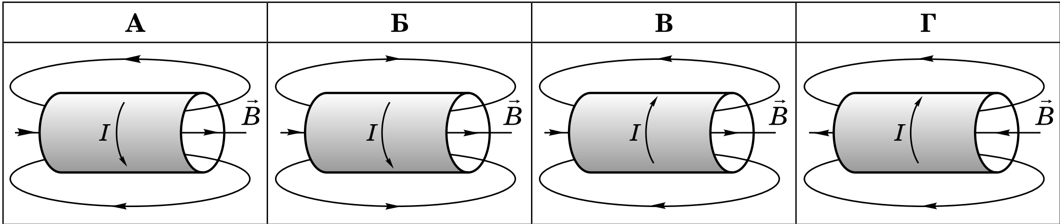
1. По паралельних легких і гнучких провідниках пропускають електричний струм. Визначте, на якому рисунку форма провідників зі струмом узгоджується з напрямками струмів.

А	Б	В	Г

Розв'язання. Якщо струми течуть в одному напрямку, *обидва* провідники притягуються один до одного; якщо ж напрямки струмів протилежні, *обидва* провідники відштовхуються. Правильна відповідь В.

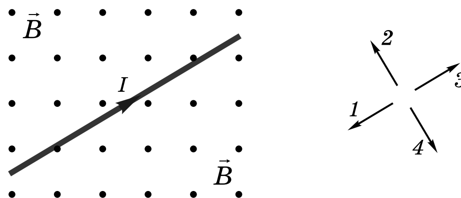
2. На рисунках подано котушки зі струмами (I) та лінії магнітного поля $(\vec{B})$ цих струмів. Виберіть рисунок, на якому немає помилок.

А	Б	В	Г



Розв'язання. Якщо відомий напрямок струму в котушці, то напрямок ліній магнітного поля *всередині* котушки можна визначити за правилом свердлика або за правилом правої руки. Застосовуючи одне з цих правил, легко переконатися, що на рисунку В неправильно показано стрілки на центральній (горизонтальній) лінії. Далі беремо до уваги, що лінії магнітного поля замкнені, тому їх напрямок *над* котушкою або *під* котушкою має бути *протилежним* напрямку ліній усередині котушки. Цю умову не виконано на рисунках Б і Г. Правильна відповідь А.

3. Визначте напрямок (1–4) сили Ампера, яка діє на провідник зі струмом у магнітному полі (див. рисунок).

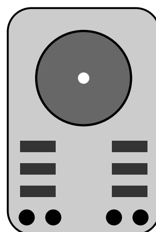


А	Б	В	Г
Напрямок 1	Напрямок 2	Напрямок 3	Напрямок 4

Розв'язання. Точки на рисунку означають, що лінії магнітного поля напрямлені перпендикулярно до площини рисунка «до нас». Ці лінії мають входити в долоню лівої руки, чотири витягнуті пальці якої напрямлені за напрямком струму. Сила Ампера перпендикулярна й до провідника, й до ліній магнітного поля, а відігнутий великий палець показує напрямок цієї сили (тобто дозволяє зробити вибір між двома протилежними напрямками). Правильна відповідь Г.

4. Електронний пучок утворює світлу точку в центрі екрана осцилографа (рис. 1). Збоку до осцилографа піднесли штабовий магніт (рис. 2). Визначте точку, в яку може переміститися світла точка.

А	Б	В	Г
Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4


Рис. 1

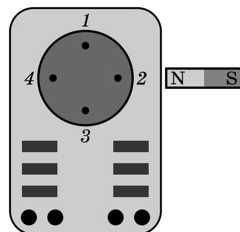


Рис. 2

Розв'язання. На електрони з боку магнітного поля штабового магніту діє сила Лоренца. Щоб визначити її напрямок, слід застосувати правило лівої руки. Візьмемо до уваги: 1) електрони мають негативний заряд і рухаються перпендикулярно до площини рисунку «до нас»; 2) лінії магнітної індукції виходять з північного магнітного полюса магніту, тобто на осі електронно-променевої трубки вони напрямлені вліво. Згідно з правилом лівої руки сила Лоренца напрямлена вгору. Правильна відповідь А.

5. Горизонтальний мідний провідник масою $m = 3$ г підвішений за кінці на провідних нитках. Середня частина провідника довжиною $l = 5$ см перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 60$ мТл. Лінії магнітної індукції є горизонтальними та перпендикулярними до провідника. Коли у провіднику тече струм, сила натягу ниток підвісу зменшується до нуля. Визначте силу струму I, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

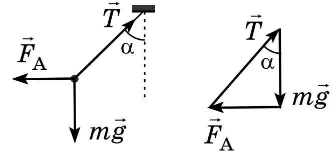
А	Б	В	Г
15 А	10 А	5 А	3 А

Розв'язання. Оскільки напрямки струму та магнітної індукції $\vec{B}$ горизонтальні, сила Ампера $\vec{F}_A$, що діє на провідник, вертикальна. Напрямок цієї сили можна визначити за правилом лівої руки. Проте в даному випадку зрозуміло, що сила Ампера та сила тяжіння зрівноважують одна одну, тобто сила Ампера напрямлена вгору. З формули $F_A = BIl$ і умови рівноваги $F_A = mg$ отримаємо $I = \frac{mg}{Bl} = 10$ А. Правильна відповідь Б.

6. Горизонтальний провідник масою $m = 6$ г підвішений за кінці на провідних нитках. Середня частина провідника довжиною $l = 6$ см перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 250$ мТл, лінії магнітної індукції якого вертикальні. Коли в провіднику тече струм, нитки підвісу відхиляються від вертикалі на кут $\alpha = 45°$. Визначте силу струму I, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
1 А	2 А	4 А	8 А

Розв'язання. На провідник діють сила Ампера $\vec{F}_А$, сила тяжіння $m\vec{g}$ і сили натягу ниток підвісу, рівнодійну яких позначимо $\vec{T}$ (див. рисунок). Рівнодійна всіх цих сил дорівнює нулю, звідки $F_А = mg\,\text{tg}\,\alpha$. Враховуючи, що $F_А = BIl$, отримаємо $I = \dfrac{mg\,\text{tg}\,\alpha}{Bl} = 4$ А. Правильна відповідь В.



7. Визначте модуль сили Лоренца, яка діє на альфа-частинку в магнітному полі з індукцією $B = 0{,}5$ Тл. Частинка рухається зі швидкістю $v = 800$ км/с під кутом $\alpha = 30°$ до ліній магнітної індукції. Елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
$1{,}6 \cdot 10^{-14}$ Н	$3{,}2 \cdot 10^{-14}$ Н	$6{,}4 \cdot 10^{-14}$ Н	$9{,}6 \cdot 10^{-14}$ Н

Розв'язання. Модуль сили Лоренца $F_Л = |q| Bv \sin\alpha$. Заряд альфа-частинки $q = 2e$. Звідси $F_Л = 6{,}4 \cdot 10^{-14}$ Н. Правильна відповідь В.

8. У приладі створили однорідне електричне поле з напруженістю $E = 600$ В/м і однорідне магнітне поле з індукцією $B = 0{,}4$ Тл. Вектори $\vec{E}$ і $\vec{B}$ є горизонтальними та перпендикулярними один до одного. Визначте швидкість v, з якою протон може рухатися в приладі прямолінійно рівномірно у вертикальному напрямку.

А	Б	В	Г
$0{,}16\,\dfrac{\text{км}}{\text{с}}$	$0{,}24\,\dfrac{\text{км}}{\text{с}}$	$0{,}67\,\dfrac{\text{км}}{\text{с}}$	$1{,}5\,\dfrac{\text{км}}{\text{с}}$

Розв'язання. Рух частинки буде прямолінійним рівномірним, якщо сили з боку електричного та магнітного полів компенсують одна одну (для цього сила Лоренца $\vec{F}_Л$ має бути напрямлена протилежно $\vec{E}$). Умова рівності сил $|q|E = |q|vB$ дозволяє визначити швидкість руху протона: $v = \dfrac{E}{B} = 1{,}5 \cdot 10^3$ м/с. Правильна відповідь Г.

9. Визначте форму траєкторії альфа-частинки, яка влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції.

А	Б	В	Г
Пряма	Спіраль	Коло	Гвинтова лінія

Розв'язання. На альфа-частинку діє тільки сила Лоренца. Сила Лоренца перпендикулярна до швидкості руху частинки, тому ця сила не виконує роботу і модуль швидкості руху частинки не змінюється. Сила Лоренца перпендикулярна також до ліній магнітної індукції, як і початкова швидкість руху частинки. Отже, траєкторія руху лежить у площині, перпендикулярній до цих ліній. За таких умов модуль сили Лоренца $F_Л = qvB$ не змінюється. Тому не змінюється й модуль прискорення руху. Таким чином, маємо рух у площині з незмінними за модулями швидкістю та прискоренням. Такий рух тільки один — це рівномірний рух по колу. Правильна відповідь В.

10. У досліді визначили швидкість v руху зарядженої частинки та радіус r кола, по якому частинка рухалася в однорідному магнітному полі. Модуль магнітної індукції цього поля дорівнює B. Визначте масу m частинки, якщо модуль її заряду дорівнює q.

А	Б	В	Г
$m = \frac{qB}{rv}$	$m = \frac{qBr}{v}$	$m = \frac{v}{qBr}$	$m = \frac{Br}{qv}$

Розв'язання. Частинка рухається по колу, якщо швидкість її руху напрямлена під прямим кутом до ліній магнітної індукції. У цьому випадку модуль сили Лоренца $F_Л = qvB$. Ця сила надає частинці доцентрового прискорення, модуль якого $a = \frac{v^2}{r}$. За другим законом Ньютона $F = ma$, звідки $m = \frac{qBr}{v}$. Правильна відповідь Б.

11. Електрон з кінетичною енергією 8 кеВ рухається по колу в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 25$ мТл. Визначте радіус r цього кола, вважаючи, що маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг. Елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
3 мм	6 мм	1,2 см	2,4 см

Розв'язання. Кінетичну енергію 8 кеВ електрон міг отримати, пройшовши прискорюючу різницю потенціалів $U = 8 \cdot 10^3$ В. Отже, $\frac{mv^2}{2} = eU$. Звідси швидкість руху електрона $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, а радіус його траєкторії можна знайти з умови $\frac{mv^2}{r} = evB$ (див. завдання 10). Отримаємо $r = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{e}} = 1{,}2 \cdot 10^{-2}$ м. Правильна відповідь В.

12. Два електрони влетіли в однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Порівняйте радіуси r_1 і r_2 колових траєкторій електронів і періоди T_1 і T_2 обертання, якщо швидкості руху електронів $v_1 = 200$ км/с, $v_2 = 400$ км/с.

А	Б	В	Г
$r_2 = 2r_1$; $T_2 = 2T_1$	$r_2 = 2r_1$; $T_2 = T_1$	$r_2 = r_1$; $T_2 = 2T_1$	$r_2 = 2r_1$; $T_2 = 4T_1$

Розв'язання. Радіус траєкторії зарядженої частинки визначається умовою $\frac{mv^2}{r} = |q|vB$ (див. попередні задачі), звідки $r = \frac{mv}{|q|B}$. Як бачимо, радіус траєкторії прямо пропорційний швидкості руху частинки. За умовою $v_2 = 2v_1$, тому $r_2 = 2r_1$. Період обертання $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$ не залежить від швидкості руху частинки, тому $T_2 = T_1$. Правильна відповідь Б.

13. Визначте форму траєкторії електрона, який влітає в однорідне магнітне поле під кутом $30°$ до ліній магнітної індукції.

А	Б	В	Г
Пряма	Спіраль	Коло	Гвинтова лінія

Розв'язання. На електрон діє тільки сила Лоренца. Оскільки ця сила перпендикулярна до швидкості руху, вона не виконує роботу і модуль швидкості руху не змінюється. Сила Лоренца перпендикулярна також до ліній магнітної індукції $\vec{B}$. Отже, проекція $v_{\parallel}$ швидкості руху електрона на напрямок ліній магнітної індукції залишається незмінною. Значення $v_{\parallel}$ не впливає на силу Лоренца. Таким чином, рух електрона є «сумою» рівномірного руху по колу в площині, перпендикулярній до $\vec{B}$, і рівномірного руху вздовж напрямку $\vec{B}$. Траєкторія такого руху — гвинтова лінія. Правильна відповідь Г.

14. Постійні магніти виготовляють з...

А	Б	В	Г
...парамагнетиків	...діамагнетиків	...феро- або діамагнетиків	...феромагнетиків

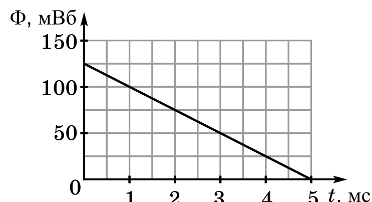
Розв'язання. Для постійних магнітів необхідний матеріал, який може зберігати намагніченість навіть за відсутності зовнішнього магнітного поля. З усіх зазначених типів матеріалів таку властивість мають тільки феромагнетики. Правильна відповідь Г.

15. Плоский контур площею $S = 250$ см^2 перебуває в однорідному магнітному полі. Визначте перпендикулярну до площини контуру складову B_n індукції $\vec{B}$ магнітного поля, якщо магнітний потік через контур $\Phi = 5$ мВб.

А	Б	В	Г
20 мТл	50 мТл	200 мТл	750 мТл

Розв'язання. За означенням $\Phi = BS\cos\alpha = B_n S$, де α — кут між вектором $\vec{B}$ і вектором $\vec{n}$ нормалі до площини контуру. Звідси $B_n = \frac{\Phi}{S} = 0{,}2$ Тл. Правильна відповідь В.

16. За графіком залежності магнітного потоку Φ через замкнений провідний контур від часу t (див. рисунок) визначте модуль електрорушійної сили $\mathscr{E}_i$, яка виникає в контурі.



А	Б	В	Г
25 В	50 В	75 В	125 В

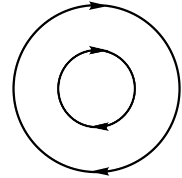
Розв'язання. Скористаємося законом електромагнітної індукції; з нього випливає, що $\left|\mathscr{E}_i\right| = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$. З поданого графіка видно, що кожної мілісекунди магнітний потік зменшується на 25 мВб; отже, швидкість зміни магнітного потоку $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -25\,\frac{\text{мВб}}{\text{мс}} = -25\,\frac{\text{Вб}}{\text{с}}$ і $\left|\mathscr{E}_i\right| = 25$ В. Правильна відповідь А.

17. Виберіть правильне співвідношення між одиницями фізичних величин у СІ.

А	Б	В	Г
$1\ \text{Гн} = 1\ \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{В}}$	$1\ \text{Дж} = 1\ \text{Гн} \cdot \text{А}^2$	$1\ \text{Вб} = 1\ \frac{\text{Гн} \cdot \text{В}}{\text{А}}$	$1\ \text{Дж} = 1\ \text{А} \cdot \text{Гн}^2$

Розв'язання. Простіше за все порівняти запропоновані співвідношення з відомими формулами. Очевидно, що співвідношення $1\ \text{Дж} = 1\ \text{Гн} \cdot \text{А}^2$ відповідає формулі енергії магнітного поля котушки $W = \frac{LI^2}{2}$. Усі ж інші співвідношення, як показує перевірка, неправильні. Наприклад, співвідношення Г суперечить наведеній формулі, а співвідношення В — формулі $\Phi = LI$. Правильна відповідь Б.

18. Визначте, лінії якого поля можуть мати вигляд, поданий на рисунку.



А	Б	В	Г
Тільки магнітного	Магнітного або електростатичного	Електростатичного або вихрового електричного	Магнітного або вихрового електричного

Розв'язання. Усі лінії електростатичного поля починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних (формально лінії можуть уходити в нескінченність). Замкненими можуть бути лінії магнітного поля або вихрового електричного поля. Правильна відповідь Г.

19. Визначте поля, які задовольняють таким умовам: 1 — робота поля на замкненій траєкторії дорівнює нулю, на незамкненій траєкторії може бути відмінною від нуля; 2 — робота поля завжди дорівнює нулю; 3 — робота поля залежить від форми траєкторії руху зарядженої частинки.

А	Б	В	Г
1 — електростатичне поле; 2 — магнітне поле; 3 — вихрове електричне поле	1 — магнітне поле; 2 — вихрове електричне поле; 3 — електростатичне поле	1 — вихрове електричне поле; 2 — електростатичне поле; 3 — магнітне поле	1 — електростатичне поле; 2 — вихрове електричне поле; 3 — магнітне поле

Розв'язання. Електростатичне поле є потенціальним, тобто його робота при переміщенні зарядженої частинки залежить лише від положення початкової та кінцевої точок траєкторії цієї частинки, а не від форми траєкторії. Робота такого поля на замкненій траєкторії завжди дорівнює нулю. Вихрове ж електричне поле є непотенціальним, його робота залежить і від форми траєкторії. Магнітне поле взагалі не виконує роботу при переміщенні зарядженої частинки: сила Лоренца, яка діє з його боку на частинку, напрямлена перпендикулярно до швидкості руху частинки. Правильна відповідь А.

20. На рис. 1 подано дві замкнені котушки та рухомі штабові магніти. Визначте напрямок індукційного струму в кожній котушці.



Рис. 1

А	Б
I 1 I 2	I 1 I 2
В	**Г**
I 1 I 2	I 1 I 2

Розв'язання. Напрямок індукційного струму можна визначити за правилом Ленца. Перш за все визначимо напрямок *зовнішнього* магнітного поля $\vec{B}$ (рис. 2) у котушці 1, скориставшись тим, що лінії магнітного поля виходять із північного полюса магніту. Під час наближення магніту до котушки магнітний потік збільшується. Отже, магнітне поле індукційного струму $\vec{B}_i$ «прагне» зменшити магнітний потік, тобто магнітне поле індукційного струму напрямлене протилежно полю магніту. Напрямок індукційного струму можна тепер визначити за правилом свердлика. У котушці 2 магнітний потік зменшується; отже, магнітне поле індукційного струму «прагне» його збільшити, тобто магнітне поле індукційного струму напрямлене так само, як магнітне поле магніту. Правильна відповідь А.

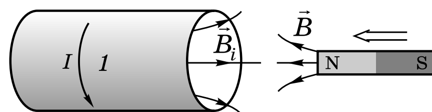
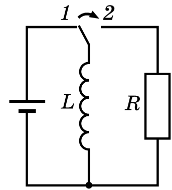


Рис. 2



Можна міркувати інакше: при наближенні магніту котушка з індукційним струмом теж стає магнітом. Котушка та магніт відштовхуються (інакше порушувався би закон збереження енергії). Отже, на правому кінці котушки має бути північний магнітний полюс. Звідси визначаємо напрямок ліній магнітного поля $\vec{B}_i$ і, скориставшись правилом свердлика,— напрямок індукційного струму.

21. У поданому на рисунку колі ключ перевели з положення 1 у положення 2. Визначте, яка кількість теплоти Q виділилася після цього в резисторі R. ЕРС джерела струму $\mathscr{E}=12$ В, його внутрішній опір $r=0{,}6$ Ом, індуктивність котушки $L=2$ Гн. Котушку вважайте ідеальною.



А	Б	В	Г
100 Дж	200 Дж	400 Дж	800 Дж

Розв'язання. Коли ключ був у положенні 1, джерело струму працювало в режимі короткого замикання й увесь струм $I=\frac{\mathscr{E}}{r}$ протікав через котушку, а в резисторі струму не було. Енергія магнітного поля котушки в такому режимі $W_м=\frac{LI^2}{2}=\frac{L\mathscr{E}^2}{2r^2}$. Після переводу ключа в положення 2 саме ця енергія виділиться в резисторі: $Q=W_м=400$ Дж. Правильна відповідь В.

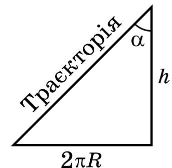
Другий рівень

1. Електрон рухається в однорідному магнітному полі по гвинтовій лінії радіусом $R=5$ мм. Визначте крок h гвинтової лінії (відстань між сусідніми витками), якщо швидкість руху напрямлена під кутом $\alpha=45°$ до ліній магнітної індукції. Вважайте, що $\pi=3{,}14$.

А	Б	В	Г
6,28 мм	31,4 мм	47,1 мм	62,8 мм



Тут навіть не треба знати якісь властивості магнітного поля. Уявімо один виток траєкторії (гвинтової лінії) — він «намотаний» на бічну поверхню циліндра. Якщо подумки розрізати циліндр і «розгорнути» його в площину, цей виток перетвориться на відрізок прямої (див. рисунок). З прямокутного трикутника $h=2\pi R\,\text{ctg}\,\alpha=31{,}4$ мм. Правильна відповідь Б.



2. Відразу після приєднання конденсатора із зарядом q до котушки з індуктивністю L швидкість зростання сили струму дорівнює $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ (тобто за дуже малий інтервал часу Δt сила струму зростає від нуля до ΔI). Визначте електроємність C конденсатора, вважаючи конденсатор і котушку ідеальними.

А	Б	В	Г
$C=\frac{q\Delta I}{L\Delta t}$	$C=\frac{q\Delta t}{L\Delta I}$	$C=\frac{L\Delta t}{q\Delta I}$	$C=\frac{L\Delta I}{q\Delta t}$

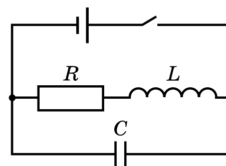
Розв'язання. Напруга на конденсаторі U_C і напруга на котушці U_L однакові. Оскільки $U_C=\frac{q}{C}$ і для ідеальної котушки U_L дорівнює за модулем ЕРС самоіндукції $\mathscr{E}_{is}=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$, отримаємо $C=\frac{q\Delta t}{L\Delta I}$. Правильна відповідь Б.

3. Замкнена рамка з $N=20$ витків провідника має форму прямокутника зі сторонами $a=8$ см і $b=15$ см. Опір рамки $R=0{,}2$ Ом. Рамка лежить горизонтально в однорідному магнітному полі з індукцією $B=0{,}4$ Тл; лінії магнітного поля вертикальні. Визначте заряд q, що протече по рамці, якщо її повернути на 180° навколо однієї сторони.

А	Б	В	Г
0,12 Кл	0,24 Кл	0,48 Кл	0,96 Кл

Розв'язання. Протікання заряду по рамці зумовлене виникненням індукційного струму. За законом Ома для повного кола $I=\frac{\mathscr{E}_i}{R}$, а ЕРС індукції згідно із законом електромагнітної індукції $\mathscr{E}_i=-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Розіб'ємо весь процес на малі проміжки часу Δt. Протягом одного такого проміжку часу магнітний потік Φ через рамку змінюється на $\Delta\Phi$ і по рамці протікає заряд Δq. Оскільки $\Delta q=I\Delta t$, отримуємо $\Delta q=-\frac{\Delta\Phi}{R}$. Звідси випливає, що шуканий заряд $q=-\frac{\Phi_к-\Phi_п}{R}$, де $\Phi_п$ і $\Phi_к$ — відповідно початкове та кінцеве значення магнітного потоку. Якщо вважати, що спочатку вектор $\vec{n}$ нормалі до рамки був напрямлений у бік ліній магнітного поля, то $\Phi_п=NBab$, а $\Phi_к=-NBab$ (фактично ми визначаємо модуль заряду, тому вибір напрямку $\vec{n}$ не має значення). Остаточно $q=\frac{2NBab}{R}=0{,}96$ Кл. Правильна відповідь Г.

4. У поданому на рисунку колі ключ спочатку замкнений. Конденсатор і котушку можна вважати ідеальними. ЕРС джерела струму $\mathscr{E} = 6{,}3$ В; внутрішній опір джерела струму $r = 1$ Ом. Електроємність конденсатора $C = 5$ мкФ; опір резистора $R = 20$ Ом; індуктивність котушки $L = 2$ мГн. Визначте кількість теплоти Q, яка виділиться в резисторі *після* розмикання ключа. Втрати енергії на електромагнітне випромінювання не враховуйте.



А	Б	В	Г
0,09 мДж	0,18 мДж	0,27 мДж	0,36 мДж

Розв'язання. До розмикання ключа струм протікав послідовно через джерело струму, котушку та резистор. Оскільки котушка ідеальна, її опором постійному струмові можна знехтувати. За законом Ома для повного кола сила струму $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$. Напруга на резисторі $U = IR = \frac{\mathscr{E}R}{R + r}$, напруга на котушці дорівнює нулю. Струм через конденсатор не тече, напруга на конденсаторі дорівнює U. Після розмикання ключа замкнене коло утворюють резистор, котушка та конденсатор. Початкова енергія цієї системи складається з енергії електричного поля конденсатора та енергії магнітного поля котушки: $W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2}$. Уся ця енергія переходить у внутрішню (у резисторі виділяється кількість теплоти $Q = W$). Підставивши чисельні значення величин, отримаємо $Q = 0{,}18$ мДж. Правильна відповідь Б.

5. В електричному колі (рис. 1) лампи 1 і 2 однакові, електричні опори R котушки та резистора теж однакові. Індуктивність L котушки вважайте великою. Ключ замикають, а через хвилину розмикають. Визначте правильне твердження щодо описаного випадку.

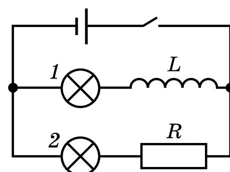


Рис. 1

А	Б	В	Г
Лампа 1 спалахує пізніше за лампу 2, а гасне раніше за лампу 2	Лампа 1 спалахує пізніше за лампу 2 і гасне пізніше за лампу 2	Лампа 1 спалахує одночасно з лампою 2, а гасне пізніше за лампу 2	Лампа 1 спалахує пізніше за лампу 2, а гасне одночасно з лампою 2

Розв'язання. Після замикання ключа сила струму в усіх елементах кола зростає. При цьому в котушці виникає ЕРС самоіндукції, яка перешкоджає швидкому зростанню струму в котушці (і, відповідно, в лампі 1). Тому лампа 1 спалахує *пізніше* за лампу 2. Коли сила струму встановлюється та перестає зростати, обидві лампи світять однаково яскраво. Якщо тепер розімкнути ключ, джерело струму від'єднується від ламп, котушки та резистора. Проте сила струму в котушці не може миттєво зменшитися до нуля через виникнення ЕРС самоіндукції при зменшенні сили струму. Струм тече в послідовному замкненому колі, яке складається з обох ламп, котушки та резистора (рис. 2). Отже, лампи погаснуть *не відразу* після розмикання ключа, але погаснуть *одночасно*. Правильна відповідь Г.

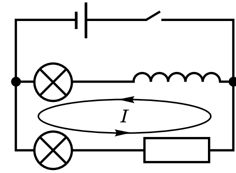


Рис. 2

6. Під час зміни магнітного поля в циліндричному залізному осерді радіусом $R = 1{,}5$ см у кожному витку намотаної на осердя котушки виникає ЕРС індукції $\mathscr{E}_i = 0{,}93$ В. Визначте (*у В/м*) напруженість E_i вихрового електричного поля у витках котушки, вважаючи, що $\pi = 3{,}1$.

Розв'язання. За умовою вихрове електричне поле при переміщенні заряду q уздовж одного витка котушки виконує роботу $A = q\mathscr{E}_i$. З іншого боку, ця робота $A = F \cdot 2\pi R = qE_i \cdot 2\pi R$. Звідси $E_i = \dfrac{\mathscr{E}_i}{2\pi R} = 10$ В/м.

Відповідь: 10.

7. Надпровідне кільце, струм у якому відсутній, розташоване в магнітному полі електромагніта. Магнітний потік через кільце $\Phi_0 = 6{,}3$ мВб. Визначте (*у мілівеберах*), яким стане магнітний потік Φ через кільце після вимкнення електромагніту.

Розв'язання. Під час зменшення зовнішнього магнітного поля виникає вихрове електричне поле, яке спричиняє індукційний струм I_i у кільці. У надпровідному кільці цей струм не загасатиме та створюватиме магнітне поле і, відповідно, магнітний потік через кільце. Із закону електромагнітної індукції та закону Ома для повного кола випливає, що $I_i R = \mathscr{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Оскільки для надпровідника опір $R \to 0$, отримуємо $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$, тобто $\Phi = \text{const}$. Отже, $\Phi = \Phi_0$. Струм у кільці створюватиме такий самий магнітний потік, який до того створювався електромагнітом.

Відповідь: 6,3.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. По паралельних легких гнучких провідниках пропускають електричний струм. Визначте, який рисунок відповідає випадку, коли напрямки струмів є однаковими.

А	Б	В	Г

2. Визначте модуль сили Ампера, яка діє в однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл на прямолінійний відрізок провідника довжиною 15 см. Сила струму в провіднику дорівнює 5 А; кут між провідником і лініями магнітної індукції становить $45°$ (вважайте, що $\sin 45° = 0{,}7$).

А	Б	В	Г
0,21 Н	0,28 Н	0,42 Н	0,84 Н

3. Визначте кут між прямолінійним провідником довжиною 10 см і лініями магнітної індукції однорідного магнітного поля, якщо сила струму в провіднику дорівнює 8 А; модуль індукції магнітного поля — 1,5 Тл; модуль сили Ампера, яка діє на провідник,— 0,6 Н.

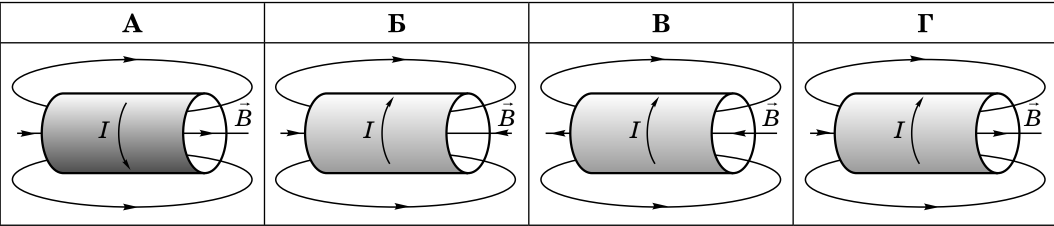
А	Б	В	Г
90°	60°	45°	30°

4. Горизонтальний провідник підвішений за кінці на провідних нитках. Середня частина провідника завдовжки 12 см перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією 50 мТл, лінії магнітної індукції якого вертикальні. Коли сила струму в провіднику дорівнює 3 А, нитки підвісу відхиляються від вертикалі на кут $45°$. Визначте масу провідника, вважаючи, що $g = 10$ м/с^2.

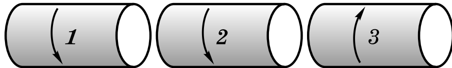
А	Б	В	Г
1,2 г	1,8 г	2,4 г	3,0 г

5. На рисунках подано котушки зі струмами (I) та лінії магнітного поля $(\vec{B})$ цих струмів. Визначте рисунок, на якому немає помилок.

А	Б	В	Г



6. На рисунку подано розташування трьох котушок і напрямки струмів в них. Визначте характер магнітної взаємодії котушок.



А	Б	В	Г
1 і 2 — притягуються; 2 і 3 — відштовхуються	1 і 2 — притягуються; 2 і 3 — притягуються	1 і 2 — відштовхуються; 2 і 3 — притягуються	1 і 2 — відштовхуються; 2 і 3 — відштовхуються

7. Визначте модуль сили Лоренца, яка діє на частинку із зарядом $3{,}2\cdot10^{-19}$ Кл під час її руху в магнітному полі з індукцією 0,2 Тл. Швидкість руху частинки напрямлена під кутом 30° до ліній магнітного поля, модуль швидкості руху дорівнює $5\cdot10^{6}$ м/с.

А	Б	В	Г
$0{,}8\cdot10^{-13}$ Н	$1{,}6\cdot10^{-13}$ Н	$3{,}2\cdot10^{-13}$ Н	$6{,}4\cdot10^{-13}$ Н

8. Електрон рухається зі швидкістю 300 км/с перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначте модуль індукції магнітного поля, якщо воно надає електрону прискорення $4{,}8\cdot10^{16}$ м/с^2. Елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; вважайте, що маса електрона становить $9\cdot10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
0,3 Тл	0,6 Тл	0,9 Тл	1,2 Тл

9. Визначте радіус колової траєкторії електрона в однорідному магнітному полі з індукцією 45 мТл, якщо електрон рухається зі швидкістю 320 км/с. Елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; вважайте, що маса електрона становить $9\cdot10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
20 мкм	40 мкм	60 мкм	80 мкм

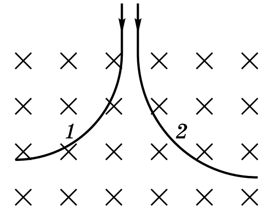
10. Визначте масу однозарядного йона, який рухається в однорідному магнітному полі зі швидкістю 36 км/с по коловій траєкторії радіусом 25 мм. Модуль індукції магнітного поля дорівнює 90 мТл; елементарний електричний заряд становить $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
$0{,}7\cdot10^{-26}$ кг	$1{,}0\cdot10^{-26}$ кг	$1{,}3\cdot10^{-26}$ кг	$1{,}6\cdot10^{-26}$ кг

11. Визначте період обертання протона по коловій траєкторії в однорідному магнітному полі з індукцією 100 мТл. Елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл; вважайте, що $\pi=3{,}1$; маса протона становить $1{,}6\cdot10^{-27}$ кг.

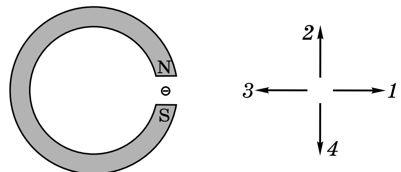
А	Б	В	Г
0,31 мкс	0,47 мкс	0,62 мкс	0,93 мкс

12. Дві заряджені частинки, які влетіли в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до площини рисунка, рухалися по колових траєкторіях. Визначте, які це можуть бути частинки.



А	Б	В	Г
1 — протон; 2 — йон Li^+	1 — йон Na^+; 2 — йон F^-	1 — йон Na^+; 2 — йон Li^+	1 — йон F^-; 2 — йон Na^+

13. Електрон пролітає між полюсами кільцевого магніту (див. рисунок), рухаючись перпендикулярно до площини рисунка «від нас». Визначте, у якому напрямку відхилиться електрон під дією магнітного поля.



А	Б	В	Г
У напрямку 1	У напрямку 2	У напрямку 3	У напрямку 4

14. Дві однакові котушки намотані на кільцеві осердя однакових розмірів. Індукція магнітного поля в порожнистому пластиковому осерді $B_0 = 40$ мТл, у залізному осерді $B = 3$ Тл. Визначте магнітну проникність заліза, з якого виготовлено осердя.

А	Б	В	Г
75	120	133	750

15. Укажіть середовище, для якого магнітна проникність $\mu = 0{,}99998$.

А	Б	В	Г
Парамагнетик	Діамагнетик	Вакуум	Феромагнетик

16. Укажіть речовини, які підсилюють зовнішнє магнітне поле.

А	Б	В	Г
Тільки феромагнетики	Феро- та діамагнетики	Феро- та парамагнетики	Діа- та парамагнетики

17. Одиниця магнітного потоку в СІ — 1 Вб. Визначте правильне співвідношення.

А	Б	В	Г
$1\,\text{Вб} = 1\,\text{Ом} \cdot \text{с}$	$1\,\text{Вб} = 1\,\text{В} \cdot \text{с}$	$1\,\text{Вб} = 1\,\dfrac{\text{В}}{\text{с}}$	$1\,\text{Вб} = 1\,\dfrac{\text{Ом}}{\text{с}}$

18. Визначте правильне співвідношення між одиницями фізичних величин у СІ.

А	Б	В	Г
$1\,\text{Тл} = 1\,\dfrac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}}$	$1\,\text{Дж} = 1\,\text{В} \cdot \text{Вб}$	$1\,\text{Тл} = 1\,\text{Вб} \cdot \text{м}^2$	$1\,\text{Дж} = 1\,\text{Вб} \cdot \text{А}$

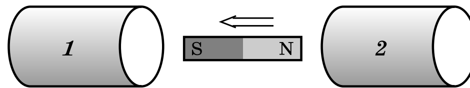
19. Визначте, що може спричинити появу вихрового електричного струму.

А	Б	В	Г
Взаємодія між постійними струмами	Постійний струм у замкненому колі	Змінне магнітне поле	Посилення магнітного поля у феромагнетику

20. Літак із розмахом крил 15 м рухається горизонтально. Визначте швидкість руху літака, якщо різниця потенціалів між кінцями крил дорівнює 0,12 В, а вертикальна складова магнітного поля Землі становить 50 мкТл.

А	Б	В	Г
120 м/с	160 м/с	240 м/с	600 м/с

21. Штабовий магніт, розташований між двома замкненими котушками, рухають вліво. Визначте напрямок струму в кожній котушці.



А	Б
I 1 I 2	I 1 I 2
В	**Г**
I 1 I 2	I 1 I 2

22. На Місяці космонавти проводять дослід: спостерігають за падінням магніту без початкової швидкості в довгій вертикальній мідній трубі. Магніт під час руху не торкається стінок труби. Визначте схематичний графік залежності швидкості v руху магніту від часу t.

А	Б	В	Г
v, O, t	v, O, t	v, O, t	v, O, t

23. Визначте пристрій, в якому застосовують явище електромагнітної індукції.

А	Б	В	Г
Електродинамічний мікрофон	Амперметр магнітоелектричної системи	Електричний двигун	Електромагнітне реле

24. Сила струму в котушці індуктивністю 0,4 Гн рівномірно зросла на 5 А. Визначте, протягом якого часу відбулося це зростання, якщо ЕРС самоіндукції в котушці дорівнювала 0,2 В.

А	Б	В	Г
2 с	4 с	5 с	10 с

25. Визначте енергію магнітного поля котушки індуктивністю 0,6 Гн, по якій тече струм 3 А.

А	Б	В	Г
0,9 Дж	1,8 Дж	2,7 Дж	5,4 Дж

26. Котушку індуктивністю 1 Гн приєднали до джерела струму. За певний час сила струму в колі зросла до 6 А, при цьому в колі виділилася кількість теплоти 30 Дж. Визначте, яку роботу виконали сторонні сили у джерелі струму за цей час.

А	Б	В	Г
12 Дж	18 Дж	24 Дж	48 Дж

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між пристроєм і явищем, яке використовують у пристрої.

1 Електродвигун
2 Електромагніт
3 Електронагрівник
4 Генератор на електростанції

А Теплова дія струму
Б Дія магнітного поля на провідник зі струмом
В Підсилення магнітного поля у феромагнетиках
Г Магнітна взаємодія паралельних провідників зі струмами
Д Явище електромагнітної індукції

28. Установіть відповідність між пристроєм і фізичним явищем.

1 Електромагнітний гучномовець
2 Циклотрон
3 Вольтметр магнітоелектричної системи
4 Магнітний компас

А Притягання феромагнетику до електромагніту
Б Рух електронів по колам в однорідному магнітному полі
В Орієнтація магнітної стрілки вздовж ліній магнітного поля
Г Виникнення вихрового електричного поля
Д Орієнтація рамки зі струмом у магнітному полі

29. Установіть відповідність між ученим і його науковим доробком.

1 А. Ампер
2 Дж. Максвелл
3 Х. Ерстед
4 М. Фарадей

А Відкрив магнітну дію електричного струму
Б Дослідив властивості феромагнетиків
В Установив закони електромагнітного поля
Г Відкрив явище електромагнітної індукції
Д Дослідив взаємодію електричних струмів

30. Установіть відповідність між фізичною величиною та виразом для одиниці фізичної величини.

1 Магнітний потік
2 Електрорушійна сила
3 Магнітна індукція
4 Індуктивність

А $\text{В} \cdot \text{Ом} \cdot \text{с}$
Б $\text{Ом} \cdot \text{с}$
В $\text{А} \cdot \text{Ом} \cdot \text{с}$
Г $\dfrac{\text{Вт}}{\text{А}}$
Д $\dfrac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2}$

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте (*у теслах*) максимальну індукцію магнітного поля, якщо на кожний сантиметр провідника, сила струму в якому дорівнює 5 А, це поле не повинно діяти із силою, більшою за 0,1 Н.

32. Електрон, розігнаний різницею потенціалів 8 кВ, влетів в однорідне магнітне поле з індукцією 50 мТл перпендикулярно до ліній магнітного поля. Визначте (*у міліметрах*) радіус колової траєкторії електрона. Елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; вважайте, що маса електрона дорівнює $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

33. Визначте (*у вольтах*) ЕРС індукції в провідному контурі, якщо протягом часу 160 мс магнітний потік через контур змінився від 180 до 580 мВб.

34. З двох однакових провідників виготовили два замкнені горизонтальні контури: перший — у формі прямокутника розмірами 30×50 см, а другий — у формі квадрата. Коли обидва контури розташовані в змінному однорідному магнітному полі, у першому контурі виникає ЕРС індукції 60 мВ. Визначте (*у мілівольтах*) ЕРС індукції в другому контурі.

35. Визначте (*в амперах*) силу струму в котушці індуктивністю 1,6 Гн, якщо енергія магнітного поля котушки дорівнює 20 Дж.

36. Ізольований мідний провідник довжиною 40 м, який лежить на горизонтальному майданчику, склали вдвічі та замкнули його кінці. Визначте (*у кулонах*), який електричний заряд пройде через цей контур, якщо провіднику надати форми квадрата. Опір провідника дорівнює 0,5 Ом, вертикальна складова магнітного поля Землі — 50 мкТл.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: 2,

чи такий: 2,0

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: 2,5

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: –2,05

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 ,5

чи такий: 2, 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31 , 33 , 35 ,

32 , 34 , 36 ,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31 , 33 , 35 ,

32 , 34 , 36 ,

Розділ 12. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

Що треба згадати

- **Рівняння гармонічних коливань:** $x = x_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$, де x — зміщення тіла при коливаннях; x_{max} — амплітуда коливань; ω — циклічна частота коливань; t — час; φ_0 — початкова фаза коливань.

- **Для гармонічних коливань (і тільки для них):** $a_x = -\omega^2 x$, де a_x — проекція прискорення тіла на вісь Ox.

- **Період гармонічних коливань:** $T = \frac{2\pi}{\omega}$, де ω — циклічна частота коливань.

- **Частота коливань:** $\nu = \frac{1}{T}$.

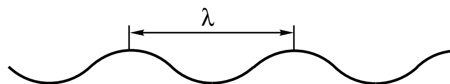
- **Циклічна частота гармонічних коливань:** $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

- **Максимальна швидкість руху при гармонічних коливаннях:** $v_{max} = \omega x_{max}$.

- **Для математичного маятника:** $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, де l — довжина маятника.

- **Для пружинного маятника:** $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, де m — маса вантажу; k — жорсткість пружини.

- **Довжина хвилі:** $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$, де v — швидкість хвилі; T і ν — відповідно період і частота хвилі.



Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Які коливання є вільними?

А	Б	В	Г
Коливання поплавка на хвилях	Коливання люстри після поштовху	Коливання поршня в двигуні автомобіля	Коливання мембрани гучномовця, який працює

Розв'язання. Вільними називають коливання, які відбуваються під дією внутрішніх сил у системі. Для їх виникнення потрібно спочатку вивести систему зі стану рівноваги, надавши їй певної енергії. Під час вільних коливань ця енергія потроху витрачатиметься (зазвичай переходитиме у внутрішню), тому вільні коливання затухають. Цій умові відповідає тільки відповідь Б. (Усі інші наведені приклади відповідають випадкам вимушених коливань, які відбуваються під дією зовнішніх періодичних сил, або автоколивань).

2. На маятник діє періодична зовнішня сила з частотою $\nu = 1{,}5$ Гц. Визначте частоту вимушених коливань маятника, якщо частота його вільних коливань $\nu_0 = 0{,}5$ Гц.

А	Б	В	Г
0,5 Гц	1 Гц	1,5 Гц	2 Гц

Розв'язання. Вимушені коливання завжди відбуваються *з частотою зовнішньої періодичної сили* (незалежно від того, яка частота вільних коливань системи). Уявіть собі, наприклад, що ви взялися рукою за тягарець маятника та здійснюєте періодичні переміщення руки. Зрозуміло, що тягарець повторюватиме всі переміщення руки. Отже, правильна відповідь В.

3. Координата тіла під час коливань уздовж осі *Ox* змінюється за законом $x = 0{,}03\cos\left(6\pi t - \frac{\pi}{5}\right)$. Визначте характеристику коливань, числове значення якої дорівнює 3 (значення всіх величин наведено в СІ).

А	Б	В	Г
Амплітуда	Частота	Період	Початкова фаза

Розв'язання. Наведена формула відповідає гармонічним коливанням, загальна формула яких має вигляд $x = x_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$. Зіставлення формул показує, що амплітуда $x_{max} = 0{,}03$ м, циклічна частота $\omega = 6\pi$ рад/с, початкова фаза $\varphi_0 = -\frac{\pi}{5}$. Числове значення жодної з цих величин не дорівнює 3 (в одиницях СІ). Тому визначимо частоту ν і період T: $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 3$ Гц, $T = \frac{1}{\nu} = 0{,}33$ с. Правильна відповідь Б.

4. Координата тіла під час гармонічних коливань уздовж осі Ox змінюється за законом $x = 0{,}15\cos 10t$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте частоту коливань прискорення руху тіла та амплітудне значення прискорення.

А	Б	В	Г
$\frac{5}{\pi}$ Гц; $1{,}5\ \text{м/с}^2$	10 Гц; $15\ \text{м/с}^2$	$\frac{5}{\pi}$ Гц; $15\ \text{м/с}^2$	10 Гц; $1{,}5\ \text{м/с}^2$

Розв'язання. Зіставлення наведеної в умові формули з формулою $x = x_{max}\cos\omega t$ показує, що амплітуда коливань $x_{max} = 0{,}15$ м, а циклічна частота $\omega = 10$ рад/с. Частота коливань $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{5}{\pi}$ Гц. Така сама й частота коливань швидкості та прискорення руху тіла. З рівняння $a_x = -\omega^2 x$, яке справджується для всіх гармонічних коливань, випливає: $a_{max} = \omega^2 x_{max} = 15$ м/с^2. Правильна відповідь В.

5. Посудина з водою здійснює на пружині вертикальні коливання з періодом $T_0 = 3$ с. Вода починає потроху витікати через маленький отвір. Визначте, яким стане період коливань, коли маса посудини з водою зменшиться в 9 разів.

А	Б	В	Г
0,33 с	0,5 с	1 с	9 с

Розв'язання. Скористаємося формулою періоду коливань пружинного маятника. Початковий період коливань $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{k}}$, де m_0 — початкова маса посудини з водою; k — жорсткість пружини. Коли маса посудини з водою зменшиться до $m = \frac{m_0}{9}$, період коливань буде $T = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{9k}} = \frac{T_0}{3}$. Правильна відповідь В.

6. Коли на пружині висять 4 однакових тягарця, період вільних вертикальних коливань системи $T_1 = 2{,}4$ с. Визначте, яким стане період T_2 коливань, якщо до пружини підвісити ще 5 таких самих тягарців.

А	Б	В	Г
1,6 с	3,0 с	3,6 с	5,4 с

Розв'язання. Позначимо m масу тягарця. Тоді періоди коливань пружинного маятника $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{4m}{k}}$; $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{9m}{k}}$. Звідси $\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{9}{4}} = 1{,}5$ і $T_2 = 3{,}6$ с. Правильна відповідь В.

7. Фляга з водою здійснює на довгій нитці малі коливання з періодом $T_0 = 2$ с. Вода починає потроху витікати через маленький отвір. Визначте, яким стане період коливань, коли маса фляги з водою зменшиться в 4 рази.

А	Б	В	Г
0,5 с	1 с	2 с	4 с

Розв'язання. Описану в умові коливальну систему можна розглядати як математичний маятник. Період коливань математичного маятника не залежить від його маси: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Це пов'язане з тим, що сила тяжіння надає тілам різної маси однакового прискорення. Отже, правильна відповідь В.

8. Визначте, у скільки разів треба збільшити довжину нитки маятника з маленьким тягарцем, щоб період малих коливань збільшився вдвічі.

А	Б	В	Г
У 8 разів	У 4 рази	У 2 рази	У 1,41 разу

Розв'язання. Маленький тягарець на довгій легкій нитці можна розглядати як математичний маятник, період коливань якого $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Оскільки $T \sim \sqrt{l}$, для збільшення періоду вдвічі треба збільшити довжину нитки в 4 рази. Правильна відповідь Б.

9. Після аварійної посадки на астероїд космонавти прив'язали маленький тягарець до нитки довжиною $l = 1$ м і спостерігали малі коливання цього маятника. Протягом $t = 2$ хв відбулося $N = 12$ коливань. Визначте прискорення a вільного падіння на поверхні астероїда. Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

А	Б	В	Г
$0{,}12\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}48\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$0{,}54\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Розв'язання. З формули періоду коливань математичного маятника випливає, що $a = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$. Оскільки $T = \frac{t}{N}$, отримуємо $a = \frac{4\pi^2 N^2 l}{t^2} = 0{,}4$ м/с^2. Правильна відповідь Б.

10. Тягарець на пружині здійснив за хвилину $N_1 = 64$ коливання. Коли до нього прикріпили тіло масою $m = 93$ г, він здійснив за хвилину $N_2 = 60$ коливань. Визначте масу M тягарця.

А	Б	В	Г
582 г	675 г	768 г	861 г

Розв'язання. Кількість коливань за певний проміжок часу обернено пропорційна періоду коливань, тому $\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2}$. Скористаємося формулою для періоду коливань пружинного маятника: $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$; $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{M+m}{k}}$ (тут k — жорсткість пружини). Звідси $\sqrt{\frac{M+m}{M}} = \frac{N_1}{N_2}$; $M = m\frac{N_2^2}{N_1^2 - N_2^2} = 675$ г. Правильна відповідь Б.

11. Маятник настінного годинника коливається з частотою $\nu = 2{,}5$ Гц. Визначте, скільки разів протягом хвилини кінетична енергія цього маятника набуває максимального значення. Коливання вважайте незатухаючими.

А	Б	В	Г
300	150	20	5

Розв'язання. Щосекунди маятник здійснює 2,5 коливання, а за хвилину — у 60 разів більше, тобто 150. Візьмемо до уваги, що протягом кожного коливання модуль швидкості (і, відповідно, кінетична енергія) *двічі* набуває максимального значення (коли маятник проходить положення рівноваги в обидва боки). Отже, кінетична енергія маятника набуває максимального значення 300 разів. Правильна відповідь А.

12. Тягарець масою $m = 600$ г підвішений до пружини жорсткістю $k = 15$ Н/м. Тягарцю поштовхом надали вертикальної швидкості руху $v_0 = 0{,}5$ м/с. Визначте амплітуду A коливань тягарця на пружині.

А	Б	В	Г
3 см	5 см	6 см	10 см

Розв'язання. Скористаємося законом збереження енергії: відразу після поштовху тягарець має кінетичну енергію $W_к = \frac{mv_0^2}{2}$, а при максимальному відхиленні тягарця від положення рівноваги вся ця енергія переходить у потенціальну $W_п = \frac{kA^2}{2}$. Звідси $A = v_0\sqrt{\frac{m}{k}} = 0{,}1$ м. Правильна відповідь Г. (Зазначимо, що її можна отримати інакше: скористатися формулою $v_{max} = \omega x_{max}$ і згадати, що в даному випадку $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $v_{max} = v_0$ і $x_{max} = A$.)



Стривайте! Чи немає тут помилки? Адже слід урахувати не тільки потенціальну енергію деформованої пружини, а й потенціальну енергію гравітаційної взаємодії тягарця і Землі $W_п = mgh$, яка змінюється під час вертикальних коливань. А тоді відповідь, скоріше за все, буде зовсім іншою...

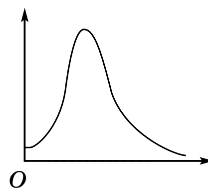
Коментар. Це слушне зауваження. Проте наведене розв'язання все ж дає правильний результат. Річ у тім, що ми відраховували деформацію від положення рівноваги, у якому сила пружності пружини зрівноважує силу тяжіння (тобто пружина вже *деформована*). Якщо тепер відвести тіло від положення рівноваги на x, то повертаюча сила (*рівнодійна* сил тяжіння та пружності) за модулем дорівнює kx. Інакше кажучи, якщо «вимкнути» або «змінити» силу тяжіння, то зміниться тільки положення рівноваги, а всі співвідношення для коливань залишаться тими самими. Це часто дозволяє спростити розв'язування задач.

13. Тягарець масою $m=400$ г, підвішений на пружині жорсткістю $k=40$ Н/м, відвели від положення рівноваги вниз на $x_0=12$ см і поштовхом надали вертикальної швидкості руху $v_0=0{,}9$ м/с. Визначте амплітуду A коливань тягарця на пружині.

А	Б	В	Г
15 см	18 см	24 см	27 см

Розв'язання. Відразу після поштовху тягарець має кінетичну енергію $W_к=\frac{mv_0^2}{2}$ і потенціальну енергію $W_п=\frac{kx_0^2}{2}$, а при максимальному відхиленні тягарця від положення рівноваги — тільки потенціальну енергію $W=\frac{kA^2}{2}$. Скористаємося законом збереження енергії: $W_к+W_п=W$. Звідси отримуємо $A=\sqrt{x_0^2+\frac{mv_0^2}{k}}=0{,}15$ м. Правильна відповідь А.

14. На рисунку подано графік, який характеризує явище резонансу. З технічних причин написи біля осей координат зникли. Визначте, значення яких фізичних величин мають бути відкладені по осях.

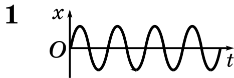


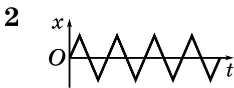
А	Б	В	Г
Вісь абсцис — частота ν; вісь ординат — амплітуда вимушених коливань	Вісь абсцис — період T; вісь ординат — амплітуда вимушених коливань	Вісь абсцис — частота ν; вісь ординат — амплітуда вільних коливань	Вісь абсцис — період T; вісь ординат — амплітуда вільних коливань

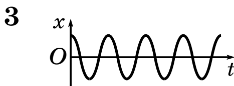
Розв'язання. Явище резонансу полягає в різкому збільшенні амплітуди вимушених коливань, коли частота зовнішньої сили наближається до частоти вільних коливань системи (це явище спостерігається за малого тертя в системі). При цьому вважають, що амплітудне значення зовнішньої сили не змінюється. Отже, по осі ординат відкладають значення амплітуди вимушених коливань (для вільних коливань амплітуда взагалі залежить від початкового відхилення або поштовху). Чи не все одно, відкладати по осі абсцис ν або T? Звернемо увагу на граничні випадки: якщо $\nu\to 0$ $(T\to\infty)$, ідеться фактично про постійну силу, яка викликає невелике зміщення системи від положення рівноваги.

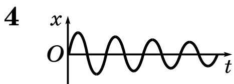
Якщо ж $\nu \to \infty$ $(T \to 0)$, то система через інертність «не встигає» реагувати на зовнішню силу (амплітуда вимушених коливань прямує до нуля). Правильна відповідь А.

15. Установіть відповідність «графік залежності $x(t)$, де x — відхилення тіла від положення рівноваги, — тип коливань тіла».

1 

2 

3 

4 

А Вільні незатухаючі коливання після початкового поштовху

Б Вільні затухаючі коливання після початкового поштовху

В Вільні незатухаючі коливання після відведення тіла від положення рівноваги

Г Вимушені коливання під дією періодичних поштовхів

Д Негармонічні незатухаючі коливання

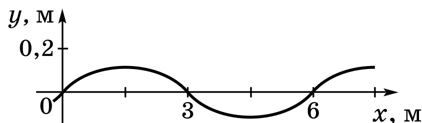
Розв'язання. Перш за все зазначимо, що тільки графік 4 відповідає затухаючим коливанням (амплітуда зменшується з кожним коливанням). Незатухаючим негармонічним коливанням відповідає тільки графік 2. Графіки ж 1 і 3 можуть відповідати вільним гармонічним незатухаючим коливанням (зрозуміло, це певна ідеалізація, бо в реальних коливальних системах завжди є втрати енергії). Якщо вільні коливання виникають після початкового поштовху, то початкове значення відхилення дорівнює нулю, а якщо тіло відвели від положення рівноваги та відпустили, то початкове значення x відповідає максимальному (амплітудному). Це дозволяє визначити правильну відповідь: 1–А; 2–Д; 3–В; 4–Б.

16. Довжина звукової хвилі в повітрі $\lambda = 0{,}2$ м. Визначте частоту ν цієї хвилі, якщо швидкість поширення звуку в повітрі $\upsilon = 340$ м/с.

А	Б	В	Г
68 Гц	1,7 кГц	6,8 кГц	17 кГц

Розв'язання. Частоту будь-якої хвилі можна виразити через період T або через довжину хвилі та швидкість: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\upsilon}{\lambda}$. У даному випадку отримуємо $\nu = 1{,}7$ кГц. Правильна відповідь Б.

17. На рисунку подано профіль хвилі, яка біжить поверхнею води, у певний момент часу. Швидкість хвилі $v = 2$ м/с. Визначте період коливань м'яча, що плаває у воді.



А	Б	В	Г
0,33 с	0,67 с	1,5 с	3 с

Розв'язання. З рисунку визначаємо, що довжина хвилі $\lambda = 6$ м (саме 6, а не 3 м: тільки через 6 м профіль хвилі повторюється). Період хвилі $T = \frac{\lambda}{v} = 3$ с. Правильна відповідь Г.

18. Частота коливань камертона $\nu = 440$ Гц. Визначте, скільки довжин хвилі укладається на відстані, яку звук проходить за 0,5 с.

А	Б	В	Г
110	220	440	880

Розв'язання. Щоб відповісти на поставлене запитання, не потрібно навіть знати швидкість звуку в середовищі. Запитання можна переформулювати так: скільки коливань камертона відбувається за 0,5 с? Очевидно, що шукана кількість коливань дорівнює $440 \cdot 0{,}5 = 220$. Правильна відповідь Б.

19. Звукова хвиля переходить зі сталевого корпусу судна у воду. Визначте, як змінюються при цьому частота ν і довжина λ хвилі звуку. Швидкість звуку в сталі дорівнює 5000 м/с, у воді — 1500 м/с.

А	Б	В	Г
ν збільшується в 3,3 разу; λ зменшується в 3,3 разу	ν зменшується в 3,3 разу; λ зменшується в 3,3 разу	ν не змінюється; λ зменшується в 3,3 разу	ν не змінюється; λ збільшується в 3,3 разу

Розв'язання. Уявімо, як відбувається перехід звукової хвилі у воду: поверхня сталевого корпусу коливається та спричиняє поширення коливань у воді. Зрозуміло, що коливання у воді мають таку саму частоту, що й коливання поверхні, які їх спричинили. Отже, частота звуку не змінюється. Зі співвідношення $\lambda = \frac{v}{\nu}$ випливає, що довжина хвилі зменшується у стільки ж разів, у скільки разів зменшилася швидкість звуку (у 3,3 разу). Правильна відповідь В.

20. Уздовж натягнутого шнура поширюється поперечна хвиля (рис. 1). Визначте, які точки із зазначених на рисунку рухаються в даний момент униз.

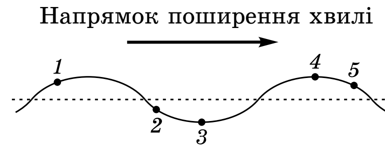


Рис. 1

А	Б	В	Г
Тільки 1	Тільки 2 і 3	Тільки 4 і 5	Тільки 1, 4 і 5

Розв'язання. Перш за все нагадаємо, що кожна точка шнура здійснює *коливання*. Коли зміщення від положення рівноваги максимальне за модулем, напрямок руху точки змінюється на протилежний, тобто в такі моменти швидкість руху точки дорівнює нулю. Отже, швидкості руху точок 3 і 4 на рисунку дорівнюють нулю. Власне кажучи, тепер відповідь очевидна (відповіді Б, В і Г неправильні). Проте розберемося, чи дійсно тільки точка 1 рухається вниз. На рис. 2 показано форму шнура через невеликий проміжок часу. Ми бачимо, що точка 1 дійсно опустилася (найближчий «гребінь» хвилі віддалився від неї), а точки 2 і 5 піднялися (до кожної з них наблизився сусідній «гребінь» хвилі). Отже, правильна відповідь А.

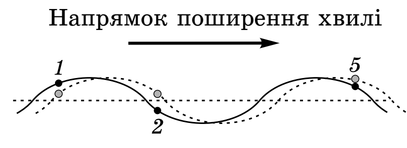


Рис. 2

21. Динамік може створювати звукові хвилі з частотою від $\nu_1 = 40$ Гц до $\nu_2 = 200$ Гц. Визначте, за якої довжини хвилі в повітрі звукова хвиля належить діапазону цього динаміка. Швидкість звуку в повітрі $v = 340$ м/с.

А	Б	В	Г
0,5 м	1 м	5 м	10 м

Розв'язання. Максимальна довжина хвилі звуку від динаміка $\lambda_1 = \frac{v}{\nu_1} = 8{,}5$ м, мінімальна довжина хвилі $\lambda_2 = \frac{v}{\nu_2} = 1{,}7$ м. У цей діапазон потрапляє значення довжини хвилі 5 м. Правильна відповідь В.

22. Визначте, яка комаха — комар чи джміль — та чому створює звук більш високого тону.

А	Б	В	Г
Комар — через менший розмір крил	Комар — через більшу частоту коливань крил	Джміль — через більший розмір крил	Джміль — через меншу частоту коливань крил

Розв'язання. Висота звуку визначається його частотою (для складних звуків — частотою основного тону). Частота звуку від комахи відповідає частоті коливань крил, а комар махає крилами значно частіше, ніж джміль. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Координата тіла під час коливань уздовж осі Ox змінюється за законом $x = 0{,}06\cos 10\pi t$. Визначте, за яким законом змінюється проекція v_x швидкості руху тіла (значення всіх величин у формулах наведено в СІ).

А	Б	В	Г
$v_x = -6\pi\cos 10\pi t$	$v_x = 0{,}6\pi\sin 10\pi t$	$v_x = -0{,}6\sin 10\pi t$	$v_x = -0{,}6\pi\sin 10\pi t$

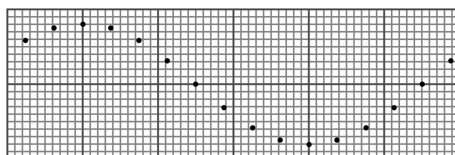
Розв'язання. Простіше за все згадати, що v_x — це похідна функції $x(t)$. Отже, якщо $x = x_{\max}\cos\omega t$, то $v_x = -\omega x_{\max}\sin\omega t$. Співвідношення $v_{\max} = \omega x_{\max}$, яке звідси випливає, часто застосовують, розглядаючи гармонічні коливання. Правильна відповідь Г.

2. Маятниковий годинник після ремонту поставили та запустили точно опівдні, а о 16 год 20 хв того самого дня він показував тільки 15 год 54 хв. Визначте, як слід змінити довжину маятника, щоб годинник запрацював правильно. Маятник годинника вважайте математичним.

А	Б	В	Г
Збільшити на 10 %	Збільшити на 19 %	Зменшити на 19 %	Зменшити на 10 %

Розв'язання. За умовою годинник «відстає»: протягом часу $t = 260$ хв його показ збільшився на $t_1 = 234$ хв. Це означає, що маятник зробив *менше* коливань, ніж було потрібно, тобто період його коливань надто великий. Щоб зменшити період коливань від T_1 до T, довжину маятника треба зменшити від l_1 до l. Час, який пройшов «за годинником», обернено пропорційний періоду коливань: $\dfrac{t}{t_1} = \dfrac{T_1}{T}$. Оскільки $T_1 = 2\pi\sqrt{\dfrac{l_1}{g}}$ і $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$, отримуємо $l = l_1\dfrac{t_1^2}{t^2} = 0{,}81 l_1$. Отже, довжину маятника слід зменшити на 19 %. Правильна відповідь В.

3. На маятнику довжиною $l = 1$ м закріплено крапельницю з чорнилами. Під час коливань маятника під ним рівномірно протягують зі швидкістю v стрічку міліметрового паперу в напрямку, перпендикулярному до площини коливань. На рисунку подано вигляд цієї стрічки після досліду. Визначте швидкість v руху стрічки. Вважайте, що маятник математичний; $\pi^2 = 10$; $g = 10$ м/с^2.



А	Б	В	Г
0,75 см/с	1,5 см/с	3,0 см/с	4,5 см/с

Розв'язання. Очевидно, що горизонтальні лінії на папері (див. рисунок) відповідають напрямку руху стрічки, а вертикальні — напрямку коливань маятника. З рисунка бачимо, що протягом *половини* періоду T коливань (від верхньої до нижньої точки «пунктирної лінії», що її утворюють краплі) стрічка перемістилася на відстань $s = 3$ см. Період коливань маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} = 2$ с. Отже, $v = \frac{2s}{T} = 3$ см/с. Правильна відповідь В.

4. Пружинний маятник здійснює коливання вздовж осі Ox. Залежність його координати від часу має вигляд $x = A\cos\left(\frac{17}{20}\pi t + \frac{\pi}{12}\right)$, де значення часу t наведено в секундах. Визначте кінетичну енергію $W_к$ маятника в момент часу $t = 5$ с, якщо потенціальна енергія пружини в цей момент $W_п = 15$ мДж.

А	Б	В	Г
7,5 мДж	15 мДж	30 мДж	45 мДж

Розв'язання. Судячи з наведеної в умові формули, коливання не затухають. Отже, механічна енергія системи $W = W_п + W_к$ зберігається. Щоб скористатися законом збереження енергії, визначимо координату маятника в зазначений момент часу: $x = A\cos\frac{13}{3}\pi = A\cos\frac{\pi}{3} = \frac{A}{2}$. Деформація пружини в цей момент удвічі менша від максимальної, а потенціальна енергія $W_п = \frac{kx^2}{2}$ у 4 рази менша від

максимальної. Оскільки максимальна потенціальна енергія при коливаннях дорівнює механічній енергії коливань, доходимо висновку, що $W = 4W_п$ і, відповідно, $W_к = 3W_п = 45$ мДж. Правильна відповідь Г.

5. Маленький тягарець висить на нитці завдовжки $l = 2{,}5$ м. Тягарцеві поштовхом надали горизонтальної швидкості руху $v_0 = 0{,}3$ м/с. Визначте амплітуду A коливань та найбільшу висоту h, на яку підіймається тягарець під час коливань. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
$A = 0{,}15$ м; $h = 1{,}5$ мм	$A = 0{,}15$ м; $h = 4{,}5$ мм	$A = 0{,}25$ м; $h = 4{,}5$ мм	$A = 0{,}25$ м; $h = 2{,}5$ мм

Розв'язання. Очевидно, що максимальна швидкість v_{max} руху тягарця під час коливань збігається з v_0. Щоб знайти амплітуду коливань, можна скористатися співвідношенням $v_{max} = \omega A = A\sqrt{\frac{g}{l}}$, звідки $A = v_0\sqrt{\frac{l}{g}} = 0{,}15$ м. Найбільшу ж висоту можна знайти прямо із закону збереження енергії: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh$, звідки $h = \frac{v_0^2}{2g} = 4{,}5$ мм. Правильна відповідь Б. (Зрозуміло, що можна було виразити h через l і A з геометричних міркувань.)

6. Визначте період малих вертикальних коливань ареометра масою $m = 20$ г, якщо площа поперечного перерізу вертикальної трубки ареометра $S = 25$ мм^2. Густина рідини, в якій плаває ареометр, $\rho = 800$ кг/м^3. Опором рідини знехтуйте; вважайте, що $\pi^2 = 10$, $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
0,5 с	0,8 с	2,0 с	2,5 с

Розв'язання. У шкільному курсі фізики немає готових формул для періоду коливань тіла, що плаває. Тому виведемо потрібну формулу. Коли ареометр перебуває в рівновазі, сила Архімеда компенсує силу тяжіння. Проведемо вісь Ox вертикально вниз, нехай $x = 0$ відповідає положенню рівноваги. Якщо, наприклад, ареометр відхилиться *вниз* на x, то сила тяжіння не зміниться, архімедова ж сила *збільшиться* на ρSxg. Рівнодійна прикладених до ареометра сил тепер відмінна від нуля: вона напрямлена *вгору* та дорівнює за модулем ρSxg. Отже, другий закон Ньютона можна записати у вигляді $ma_x = -\rho gS \cdot x$. Щоб уникнути далі громіздких розрахунків, досить помітити, що отримане рівняння фактично збігається з рівнянням руху пружинного маятника $ma_x = -kx$ (якщо додатну

сталу k замінити на іншу додатну сталу $\rho g S$). Пружинний маятник здійснює гармонічні коливання з періодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Оскільки однакові рівняння мають однакові розв'язки, ареометр теж здійснює гармонічні коливання, період яких $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\rho g S}} = 2$ с. Правильна відповідь В.

7. Поперечна хвиля біжить по натягнутому шнуру зі швидкістю $v = 5$ м/с. Довжина хвилі $\lambda = 1{,}57$ м, амплітуда $A = 2$ см. Визначте амплітудне значення $v_{\max}$ швидкості руху точок шнура. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$.

А	Б	В	Г
0,2 м/с	0,4 м/с	0,6 м/с	0,8 м/с

Розв'язання. Жодна точка шнура не рухається зі швидкістю хвилі (та в напрямку поширення хвилі). Точки шнура здійснюють коливання з амплітудою A та періодом $T = \frac{\lambda}{v}$. Амплітудне значення швидкості руху при коливаннях $v_{\max} = \omega A = \frac{2\pi A}{T} = v\frac{2\pi A}{\lambda} = 0{,}4$ м/с. Правильна відповідь Б.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте період і частоту коливань, якщо протягом 8 с відбулося 10 коливань.

А	Б	В	Г
0,8 с; 0,8 Гц	0,8 с; 1,25 Гц	1,25 с; 0,8 Гц	1,25 с; 1,25 Гц

2. Тіло масою 200 г коливається, рухаючись уздовж осі Ox. Залежність проекції прискорення руху цього тіла від часу має вигляд $a_x = -4\cos 20\pi t$ (значення всіх величин наведено в СІ). Визначте проекцію F_x сили, під дією якої тіло рухається, у момент часу $t = 50$ мс.

А	Б	В	Г
0,2 Н	0,4 Н	0,6 Н	0,8 Н

3. Визначте період малих коливань математичного маятника завдовжки 1,69 м. Вважайте, що $\pi^2 = 10$; $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
1,0 с	1,3 с	1,69 с	2,6 с

4. Визначте циклічну частоту малих коливань математичного маятника завдовжки 0,9 м. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
$0{,}3\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$3\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$3{,}3\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$	$11\ \frac{\text{рад}}{\text{с}}$

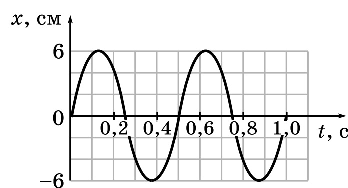
5. Визначте, як зміниться частота вільних коливань пружинного маятника, якщо жорсткість пружини зменшити в 9 разів.

А	Б	В	Г
Зменшиться в 3 рази	Зменшиться в 9 разів	Збільшиться в 3 рази	Збільшиться в 9 разів

6. Визначте жорсткість пружини, на якій тіло масою 1 кг коливається з періодом 2 с. Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

А	Б	В	Г
$5\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$10\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$20\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$	$40\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

7. Тягарець здійснює вільні вертикальні коливання на пружині жорсткістю 120 Н/м. На рисунку подано графік залежності видовження пружини від часу. Визначте масу тягарця. Вважайте, що $\pi^2 = 10$.



А	Б	В	Г
0,25 кг	0,5 кг	0,75 кг	1 кг

8. Коли до пружини підвісили тягарець, вона видовжилася на 36 см. Тягарцю поштовхом надали вертикальної швидкості руху. Визначте період коливань тягарця, вважаючи, що $\pi^2 = 10$; $g = 10$ м/с^2.

А	**Б**	**В**	**Г**
0,24 с	0,36 с	0,72 с	1,2 с

9. На пружині підвішені однакові тягарці. Під час вільних вертикальних коливань вони здійснили за хвилину 18 повних коливань. Коли кількість тягарців збільшили на 10, кількість коливань за хвилину зменшилася до 12. Визначте початкову кількість тягарців.

А	**Б**	**В**	**Г**
6	8	10	12

10. Два маятники, довжини яких відрізняються на 31 см, відвели на невелику відстань від положень рівноваги та відпустили. Коли перший маятник зробив 45 коливань, другий зробив на 3 коливання більше. Визначте довжину першого маятника.

А	**Б**	**В**	**Г**
1,96 м	2,25 м	2,56 м	2,89 м

11. Як і чому зміниться хід маятникового годинника в каюті теплохода під час переходу з Одеси до Еквадору?

А	**Б**	**В**	**Г**
Годинник поспішатиме через зменшення прискорення вільного падіння	Годинник відставатиме через зменшення прискорення вільного падіння	Годинник поспішатиме через збільшення прискорення вільного падіння	Годинник відставатиме через збільшення прискорення вільного падіння

12. Під час досліду маятник коливається з частотою 1,5 Гц. Визначте, скільки разів протягом півхвилини потенціальна енергія цього маятника набуває мінімального значення.

А	**Б**	**В**	**Г**
3	45	90	180

13. Амплітуда коливань математичного маятника завдовжки 62,5 см дорівнює 2 см. Визначте амплітудне значення швидкості руху маятника. Вважайте, що $g = 10$ м/с^2.

А	Б	В	Г
$0{,}02\ \frac{м}{с}$	$0{,}04\ \frac{м}{с}$	$0{,}06\ \frac{м}{с}$	$0{,}08\ \frac{м}{с}$

14. Амплітуда коливань тягарця на пружині дорівнює 13 см. Визначте швидкість руху тягарця, коли він розташований на відстані 1 см від крайнього нижнього положення. Маса тягарця дорівнює 200 г, жорсткість пружини становить 80 Н/м.

А	Б	В	Г
$0{,}8\ \frac{м}{с}$	$1\ \frac{м}{с}$	$2{,}4\ \frac{м}{с}$	$2{,}6\ \frac{м}{с}$

15. Максимальна швидкість руху тягарця, який коливається на пружині, дорівнює 0,5 м/с. Визначте відстань від положення рівноваги, на якій швидкість руху тягарця зменшується до 0,3 м/с. Маса тягарця дорівнює 100 г, жорсткість пружини становить 40 Н/м.

А	Б	В	Г
2 см	3 см	4 см	5 см

16. Визначте величину, значення якої суттєво зростає при резонансі.

А	Б	В	Г
Період вільних коливань	Амплітуда вимушених коливань	Частота вільних коливань	Фаза вільних коливань

17. Визначте, яка хвиля — поперечна чи поздовжна — схематично зображена на рис. 1; на рис. 2.

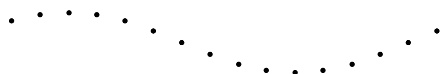


Рис. 1



Рис. 2

А	Б	В	Г
1 — поперечна; 2 — поздовжна	1 — поперечна; 2 — поперечна	1 — поздовжна; 2 — поздовжна	1 — поздовжна; 2 — поперечна

18. Заєць уночі почув звук пострілу мисливця через 0,5 с після того, як побачив спалах. Визначте відстань між мисливцем і зайцем, якщо швидкість звуку в повітрі становить 330 м/с.

А	Б	В	Г
80 м	165 м	330 м	660 м

19. Частота хвилі дорівнює 25 Гц, швидкість її поширення — 20 м/с. Визначте довжину хвилі.

А	Б	В	Г
0,8 м	1,25 м	5 м	50 м

20. У повітрі поширюється звукова хвиля з частотою 850 Гц. Визначте довжину хвилі, якщо швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.

А	Б	В	Г
0,25 м	0,4 м	2,5 м	4 м

21. Судно кинуло якір на відстані 300 м від берега, що спричинило хвилі на поверхні води. Хвилі дійшли до берега за хвилину, за наступні ж півхвилини було 60 сплесків хвиль об берег. Визначте відстань між гребенями сусідніх хвиль.

А	Б	В	Г
2,5 м	3,0 м	5,0 м	6,0 м

22. Звукова хвиля з частотою 480 Гц переходить із повітря в рідину, в якій швидкість поширення звуку більша в 4 рази. Визначте, якою буде частота звуку в рідині.

А	Б	В	Г
30 Гц	120 Гц	480 Гц	1920 Гц

23. Визначте, яка перегородка із зазначених краще поглинає звук. Товщина всіх перегородок однакова.

А	Б	В	Г
Заповнена водою	Виготовлена зі сталі	Заповнена поролоном	Виготовлена з цегли

24. Укажіть, яка істота «бачить» предмети завдяки ультразвуку.

А	Б	В	Г
Акула	Кролик	Сова	Кажан

25. Визначте, які значення довжини хвилі в повітрі потрапляють в інфразвуковий діапазон: $\lambda_1 = 12$ м; $\lambda_2 = 34$ м; $\lambda_3 = 51$ м. Швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.

А	Б	В	Г
Тільки λ_1	Тільки λ_1 і λ_2	Тільки λ_3	Тільки λ_2 і λ_3

26. Ехолот дослідницького судна посилає вертикально вниз короткий ультразвуковий імпульс. Відбитий імпульс реєструється через 4 с. Визначте глибину океану під судном, якщо швидкість звуку в морській воді дорівнює 1500 м/с.

А	Б	В	Г
3 км	4,5 км	6 км	7,5 км

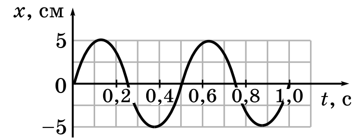
Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Формула $x = 0{,}05\cos\left(4\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ описує залежність від часу координати тіла під час коливань уздовж осі *Ox* (значення всіх величин наведено в СІ). Установіть відповідність між характеристикою коливань та числовим значенням.

1 Період коливань
2 Початкова фаза
3 Частота коливань
4 Амплітудне значення прискорення

А 0,5
Б $\frac{\pi}{2}$
В 4π
Г 2
Д $0{,}8\pi^2$

28. Тягарець масою 500 г коливається на пружині, рухаючись уздовж осі *Ox*. За графіком залежності координати тягарця від часу (див. рисунок) установіть відповідність між характеристикою коливань і числовим значенням (в одиницях СІ).



1 Частота коливань
2 Амплітуда коливань
3 Циклічна частота коливань
4 Максимальна кінетична енергія

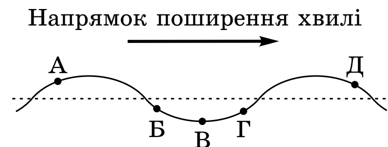
А 0,05
Б 0,5
В $0{,}01\pi^2$
Г 2
Д 4π

29. Установіть відповідність між фізичною величиною та характером її залежності від часу при незатухаючих коливаннях маятника.

1 Кінетична енергія
2 Проекція швидкості руху
3 Потенціальна енергія
4 Механічна енергія

А Не змінюється
Б Набуває мінімального значення в положенні рівноваги двічі за період
В Набуває максимального значення в положенні рівноваги один раз за період
Г Набуває максимального значення в положенні рівноваги двічі за період
Д Набуває мінімального значення в крайньому положенні один раз за період

30. Уздовж натягнутого шнура поширюється поперечна хвиля (див. рисунок). Установіть відповідність між характеристиками руху точки шнура та точкою.



1 Швидкість руху напрямлена вниз, прискорення — вниз
2 Швидкість руху напрямлена вниз, прискорення — вгору
3 Швидкість руху напрямлена вгору, прискорення — вниз
4 Швидкість руху напрямлена вгору, прискорення — вгору

А Точка А
Б Точка Б
В Точка В
Г Точка Г
Д Точка Д

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Струна гітари коливається з частотою 800 Гц. Визначте (*у метрах*) шлях, який проходить протягом 2 с точка струни, амплітуда коливань якої дорівнює 1,5 мм.

32. Амплітуда вертикальних гармонічних коливань горизонтальної поверхні поступово зростає. Частота коливань дорівнює 10 Гц. Визначте (*у міліметрах*) амплітуду коливань, за якої піщинки на поверхні почнуть «підстрибувати». Вважайте, що $\pi^2 = 10$; $g = 10$ м/с^2.

33. Період коливань на пружині одного тягарця дорівнює 1 с, а другого тягарця — 2,4 с. Визначте (*у секундах*), яким буде період коливань, якщо до тієї самої пружини підвісити обидва тягарці.

34. Маятниковий годинник, який правильно показував час на планеті з прискоренням вільного падіння $7{,}2$ м/с^2, доставили на планету з прискоренням вільного падіння 5 м/с^2. Визначте (*у годинах*), на скільки відставатиме годинник протягом однієї земної доби.

35. Коли тягарець пружинного маятника розташований на відстані 3 см від положення рівноваги, він рухається зі швидкістю 0,8 м/с. Визначте (*у м/с*) швидкість руху тягарця на відстані 4 см від положення рівноваги. Маса тягарця дорівнює 150 г, жорсткість пружини становить 60 Н/м.

36. Літак, рухаючись горизонтально, пролітає над спостерігачем на висоті 2 км. Коли спостерігач чує звук, який іде зверху, відстань між ним і літаком дорівнює 2,5 км. Визначте (*у м/с*) швидкість руху літака, якщо швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 | |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: | 2 | | | , 5 | | |

чи такий: | | | | 2 , | | 5 |

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Розділ 13. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

Що треба згадати

- **Формула Томсона для коливального контуру:** $T = 2\pi\sqrt{LC}$ $\left(\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$, де T і ω — відповідно період і циклічна частота вільних коливань у коливальному контурі; L — індуктивність котушки; C — електроємність конденсатора.

- **Зв'язок між амплітудними значеннями напруги $U_М$ та сили струму $I_М$ в ідеальному контурі:** $\frac{CU_М^2}{2} = \frac{LI_М^2}{2}$, звідки $\frac{U_М}{I_М} = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

- **Діючі значення сили струму та напруги:** $I = \frac{I_М}{\sqrt{2}}$; $U = \frac{U_М}{\sqrt{2}}$.

- **Коефіцієнт трансформації трансформатора:** $K = \frac{\mathscr{E}_1}{\mathscr{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$, де $\mathscr{E}_1$, $\mathscr{E}_2$ — діюче значення ЕРС у відповідній обмотці; N_1, N_2 — кількість витків у відповідній обмотці; U_1, U_2 — діюче значення напруги у відповідній обмотці.

- **Довжина електромагнітної хвилі у вакуумі:** $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$, де c — швидкість електромагнітних хвиль (швидкість світла) у вакуумі; T і ν — відповідно період і частота хвилі.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Визначте, на якому рисунку подано коливальний контур.

А	Б	В	Г

Розв'язання. Коливальний контур має складатися з конденсатора та котушки індуктивності: саме в такій системі виникають коливання навколо «стану рівно-

ваги». Відбуваються періодичні перетворення енергії електричного поля конденсатора на енергію магнітного поля котушки та зворотні перетворення енергії. Якщо замість одного з елементів контуру в колі присутній резистор (рисунки А і В), то в колі відбуватиметься необоротне перетворення енергії на внутрішню і замість коливань спостерігатиметься швидке зменшення сили струму. У колі, поданому на рисунку Г, може відбуватися тільки перерозподіл заряду між конденсаторами; коли напруги на конденсаторах зрівняються, струм припиниться. Правильна відповідь Б.

2. Установіть відповідність «характеристика вільних електромагнітних коливань у контурі — математичний вираз» (C і L — відповідно електроємність конденсатора та індуктивність котушки; i та u — миттєві значення відповідно сили струму та напруги в контурі).

1 Частота
2 Циклічна частота
3 Період
4 Енергія

А $2\pi\sqrt{LC}$
Б $\sqrt{LC}$
В $\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$
Г $\dfrac{Cu^2}{2}+\dfrac{Li^2}{2}$
Д $\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

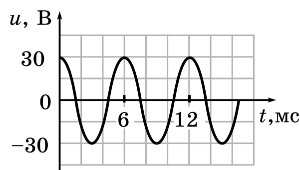
Розв'язання. Відповідно до формули Томсона період вільних коливань у коливальному контурі $T=2\pi\sqrt{LC}$. Частота цих коливань $\nu=\dfrac{1}{T}=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Циклічна частота коливань $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$. Енергія ж коливань у будь-який момент складається з енергії електричного поля конденсатора $\dfrac{Cu^2}{2}$ й енергії магнітного поля котушки $\dfrac{Li^2}{2}$. Правильна відповідь: 1–Д; 2–В; 3–А; 4–Г.

3. Визначте, як зміниться частота вільних електромагнітних коливань у контурі, якщо електроємність конденсатора збільшити в 10 разів, а індуктивність котушки зменшити в 2,5 разу.

А	Б	В	Г
Зменшиться в 5 разів	Зменшиться у 2 рази	Збільшиться у 2 рази	Збільшиться в 5 разів

Розв'язання. Частота вільних електромагнітних коливань у контурі $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Добуток LC *збільшиться* в $\frac{10}{2{,}5} = 4$ рази; отже, частота *зменшиться* в $\sqrt{4} = 2$ рази. Правильна відповідь Б.

4. На рисунку подано графік залежності напруги від часу в коливальному контурі під час вільних коливань. Визначте, яким стане період коливань, якщо індуктивність котушки збільшити в 9 разів.



А	Б	В	Г
2 мс	18 мс	36 мс	54 мс

Розв'язання. Передусім застерігаємо від типової помилки: за графіком період коливань не 3, а 6 мс (саме через такий проміжок часу процес повторюється)! Для періоду скористаємося формулою Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$. З неї випливає, що період є прямо пропорційний $\sqrt{L}$. Якщо збільшити індуктивність у 9 разів, період коливань збільшиться в 3 рази та дорівнюватиме 18 мс. Правильна відповідь Б.

5. Формула $u = 25\cos 500\pi t$ описує залежність від часу напруги на конденсаторі коливального контуру при вільних незатухаючих коливаннях (значення всіх величин наведено в СІ). Установіть відповідність між характеристикою коливань та її числовим значенням.

1 Частота
2 Циклічна частота
3 Період
4 Амплітудне значення напруги

А 0
Б 500π
В 250
Г $4 \cdot 10^{-3}$
Д 25

Розв'язання. Перш за все порівняємо наведену в умові формулу із загальною формулою $u = U_M \cos(\omega t + \varphi_0)$. Побачимо, що амплітудне значення напруги $U_M = 25$ В, циклічна частота $\omega = 500\pi$ рад/с, а початкова фаза φ_0 дорівнює нулю. Частота коливань $\nu = \frac{\omega}{2\pi} = 250$ Гц; період коливань $T = \frac{1}{\nu} = 4 \cdot 10^{-3}$ с. Правильна відповідь: 1–В; 2–Б; 3–Г; 4–Д.

6. Частота вільних електромагнітних коливань у контурі дорівнює 3 кГц. Визначте, скільки разів протягом хвилини енергія магнітного поля котушки зменшується до нуля.

А	Б	В	Г
3000	6000	180 000	360 000

Розв'язання. Щосекунди в контурі відбувається 3000 коливань, а за хвилину — у 60 разів більше, тобто 180 000. Візьмемо до уваги, що протягом кожного коливання сила струму (і, відповідно, енергія магнітного поля котушки) *двічі* дорівнює нулю (у цей момент певна обкладка конденсатора має максимальний за модулем позитивний або негативний заряд). Отже, щохвилини енергія магнітного поля котушки зменшується до нуля 360 000 разів. Правильна відповідь Г.

7. Під час вільних незатухаючих коливань у коливальному контурі максимальна напруга на конденсаторі $U_M = 40$ В, а максимальна сила струму в котушці $I_M = 1$ А. Визначте електроємність C конденсатора контуру, якщо індуктивність котушки $L = 40$ мГн.

А	Б	В	Г
2,5 мкФ	7,5 мкФ	10 мкФ	25 мкФ

Розв'язання. Під час незатухаючих коливань у контурі (за відсутності втрат енергії) відбуваються переходи між енергією електричного поля конденсатора та енергією магнітного поля котушки. Максимальні значення цих енергій однакові: $\frac{CU_M^2}{2} = \frac{LI_M^2}{2}$. Звідси $C = \frac{LI_M^2}{U_M^2} = 2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Ф. Правильна відповідь Г.

8. Визначте тип електромагнітних коливань, які виникають у генераторі змінного струму на електростанції.

А	Б	В	Г
Вільні затухаючі	Вимушені коливання	Вільні незатухаючі	Автоколивання

Розв'язання. Вільними називають коливання, які відбуваються під дією внутрішніх сил у системі; автоколивальна система містить у собі джерело енергії для підтримання коливань. Генератор змінного струму не відповідає цим умовам: щоб у колі існував змінний струм, «хтось» має обертати ротор генератора! На електростанції цей «хтось» — турбіна, ротор якої з'єднаний з ротором генератора (обертання турбіни забезпечується струменем гарячої пари або потоком води, що падає з греблі). Отже, в цьому випадку електромагнітні коливання

є вимушеними. Частота цих коливань залежить від обертової частоти турбіни та генератора (нагадаємо, що частота вимушених коливань залежить від частоти зміни зовнішньої сили). Правильна відповідь Б.

9. Дротяна рамка рівномірно обертається в однорідному магнітному полі. Визначте, як зміниться амплітудне значення ЕРС індукції в рамці, якщо збільшити обертову частоту рамки в 4 рази.

А	Б	В	Г
Збільшиться в 16 разів	Збільшиться в 4 рази	Збільшиться в 2 рази	Не зміниться



Скористаємося законом електромагнітної індукції: миттєве значення ЕРС індукції $\mathscr{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\Phi'$. Тут $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \Phi'$ — швидкість зміни магнітного потоку Φ, тобто похідна від функції $\Phi(t)$. Очевидно, що ця швидкість прямо пропорційна обертовій частоті. Отже, в даному випадку швидкість зміни магнітного потоку збільшиться в 4 рази. У стільки ж разів збільшиться й амплітудне значення ЕРС індукції в рамці. Правильна відповідь Б.

Коментар. Очевидно-то воно очевидно... Проте обґрунтуємо цей висновок. Якщо, наприклад, вісь обертання перпендикулярна до ліній індукції магнітного поля, рамка площею S обертається з кутовою швидкістю ω і в початковий момент площина рамки перпендикулярна до ліній магнітної індукції, то в момент часу t магнітний потік через рамку $\Phi = NBS\cos\omega t$. Тут N — кількість витків у рамці; B — модуль магнітної індукції поля. Обчисливши похідну, отримаємо $\mathscr{E}_i = NBS\omega\sin\omega t$. Максимальне (амплітудне) значення ЕРС індукції $\left(\mathscr{E}_i\right)_{\text{М}} = NBS\omega = 2\pi NBS\nu$ дійсно є прямо пропорційним обертовій частоті ν.

10. Визначте фізичну величину, значення якої різко зростає при резонансі в послідовному електричному колі змінного струму.

А	Б	В	Г
Частота змінного струму	Період змінного струму	Циклічна частота змінного струму	Амплітудне значення сили струму



Це дуже просто! Якщо потроху наближати частоту змінної напруги до частоти вільних коливань у даному колі (до так званої власної частоти), то різко збільшується амплітудне значення сили струму (так само, як збільшується амплітуда коливань маятника, якщо його розгойдувати поштовхами в такт з його власними коливаннями). Правильна відповідь Г.

11. Частота вільних коливань у коливальному контурі дорівнює 5 кГц. Конденсатор і котушку цього коливального контуру з'єднали послідовно та приєднали до джерела змінного струму. Частоту змінного струму повільно збільшують від 2 до 10 кГц, при цьому амплітудне значення напруги є незмінним. Визначте, як змінюється амплітудне значення сили струму.

А	Б	В	Г
Збільшується, а потім зменшується	Увесь час збільшується	Зменшується, а потім збільшується	Увесь час зменшується

Розв'язання. Змінюючи частоту від 2 до 10 кГц, ми спочатку *наближаємося* до резонансної частоти 5 кГц (при цьому амплітудне значення сили струму *збільшується*), а потім *віддаляємося* від цієї частоти (при цьому амплітудне значення сили струму *зменшується*). Отже, правильна відповідь А.

12. Амплітудне значення сили струму в колі змінного струму дорівнює 14 А. Визначте діюче значення сили струму. Вважайте, що $\sqrt{2}=1{,}4$.

А	Б	В	Г
7 А	10 А	19,6 А	28 А

Розв'язання. Діюче значення сили струму — це така сила I постійного струму, за якої в провіднику протягом того самого часу t виділялася б та сама кількість теплоти Q, що й при протіканні змінного струму. Для постійного струму $Q=I^2Rt$, де R — електричний опір провідника. У випадку змінного струму сила струму i весь час змінюється, замість I^2 слід підставити *середній квадрат* сили струму. Очевидно, що ця величина (тобто квадрат діючого значення сили струму) менша від квадрату амплітудного значення сили струму; отже, $I^2<I_{\text{М}}^2$. Це вже виключає відповіді В і Г. Можна довести, що $I^2=\frac{I_{\text{М}}^2}{2}$, тобто $I=\frac{I_{\text{М}}}{\sqrt{2}}$. Правильна відповідь Б. (Зазначимо, що аналогічне співвідношення виконується для діючого та амплітудного значень напруги: $U=\frac{U_{\text{М}}}{\sqrt{2}}$.)

13. У котушці в мережі змінного струму миттєве значення модуля сили струму змінюється від 0 до 5 А. Визначте (приблизно) показ амперметра змінного струму, з'єднаного з котушкою послідовно.

А	Б	В	Г
3,5 А	5 А	7 А	10 А

Розв'язання. З умови бачимо, що амплітудне значення сили струму $I_М = 5$ А. Амперметри та вольтметри змінного струму проградуйовано так, що вони показують діючі значення відповідних величин. Отже, амперметр показує діюче значення сили струму $I = \frac{I_М}{\sqrt{2}} \approx 3{,}5$ А. Правильна відповідь А.

14. Визначте (приблизно) мінімальну напругу, на яку має бути розрахований конденсатор, щоб його можна було приєднати до мережі змінної напруги 200 В. Вважайте, що $\sqrt{2} = 1{,}4$.

А	Б	В	Г
140 В	200 В	280 В	400 В

Розв'язання. Якщо йдеться про мережу змінної напруги 200 В, то це означає, що *діюче* значення напруги дорівнює 200 В. Отже, амплітудне значення напруги дорівнює $200\sqrt{2} = 280$ (В). Миттєве ж значення напруги змінюється за модулем від нуля до 280 В. Конденсатор має витримувати будь-які миттєві значення напруги, тому він має бути розрахований на напругу щонайменше 280 В. Правильна відповідь В.

15. Визначте формулу, яка *може* приблизно описувати залежність напруги від часу в мережі змінної напруги 220 В, 50 Гц. Значення всіх величин у формулах наведено в СІ.

А	Б	В	Г
$u = 156\sin 100\pi t$	$u = 311\sin 100\pi t$	$u = 311\sin 50t$	$u = 220\cos 50t$

Розв'язання. Загальна формула шуканої залежності має вигляд $u = U_М \cos(\omega t + \varphi_0)$. Візьмемо до уваги, що наведене в умові значення $U = 220$ В — це не амплітудне, а діюче значення змінної напруги. Отримуємо амплітудне значення змінної напруги: $U_М = \sqrt{2}U \approx 311$ В. Подамо також циклічну частоту ω через задану в умові частоту $\nu = 50$ Гц: $\omega = 2\pi\nu = 100\pi$ рад/с. Отже, $u = 311\cos(100\pi t + \varphi_0)$. Правильна відповідь Б. («Перетворення» косинусу на синус відбувається завдяки значенню початкової фази: $\varphi_0 = -\frac{\pi}{2}$.)

16. Трансформатор знижує напругу змінного струму. У вторинній обмотці трансформатора порівняно з первинною обмоткою...

А	Б	В	Г
...кількість витків більша, діаметр проводів більший	...кількість витків більша, діаметр проводів менший	...кількість витків менша, діаметр проводів більший	...кількість витків менша, діаметр проводів менший

Розв'язання. Коефіцієнт трансформації визначається співвідношенням кількості N_1 і N_2 витків в обмотках: $K = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$ (тут U_1 і U_2 — діючі значення напруги на відповідних обмотках). Отже, напруга більша на тій обмотці, кількість витків у якій більша. А от сила струму в робочому режимі, навпаки, більша в тій обмотці, в якій кількість витків менша (виконується співвідношення $\frac{I_2}{I_1} \approx \frac{U_1}{U_2}$). Потрібний діаметр проводів залежить саме від сили струму: за більшої сили струму потрібні провідники більшого діаметру, щоб уникнути перегріву та порушення ізоляції. Отже, в даному випадку у вторинній обмотці кількість витків менша, ніж у первинній, а діаметр провідників більший. Правильна відповідь В.

17. Визначте, з якою метою осердя трансформатора не виготовляють суцільним, а збирають з окремих, ізольованих одна від одної сталевих пластин.

А	Б	В	Г
Для полегшення конструкції	Для зменшення витрат енергії на нагрівання осердя	Для посилення магнітного поля	Для зменшення витрат сталі

Розв'язання. Осердя весь час перебуває у змінному магнітному полі. Тому в суцільному сталевому осерді весь час існуватимуть індукційні струми (вихрові струми, або струми Фуко). Вони нагріватимуть осердя, що дуже небажано: це спричинить великі втрати енергії, до того ж сильне нагрівання осердя виводило би трансформатор з ладу. Для запобігання виникнення вихрових струмів осердя збирають з тонких сталевих пластин, укритих шаром ізолюючого лаку. Пластини орієнтують таким чином, щоб шари лаку заважали протіканню вихрових струмів. Отже, правильна відповідь Б.

18. Ротор 48-полюсного генератора змінного струму робить 1000 обертів за хвилину. Визначте частоту вироблюваного змінного струму.

А	Б	В	Г
400 Гц	800 Гц	2,4 кГц	4,8 кГц

Розв'язання. Обертова частота ротора $\nu_{рот} = \frac{1000}{60} = \frac{50}{3}$ $с^{-1}$. Розглянемо як приклад поширений варіант, коли ротор є електромагнітом із 48 полюсами (24 *парами* полюсів), тобто обертається не «рамка», а магнітне поле, в якому перебуває рамка. Відповідно до закону електромагнітної індукції частота ЕРС індукції (отже, і частота змінного струму) дорівнює частоті зміни магнітного потоку Ф через обмотку статора. Якби ротор мав два полюси, як штабовий магніт, період зміни функції $\Phi(t)$ збігався б із періодом обертання ротора. У нашому ж випадку за один оберт ротора минає 24 періоди зміни функції $\Phi(t)$. Отже, частота змінного струму $\nu = 24\nu_{рот} = 400$ Гц. Правильна відповідь А.

19. Продовжте твердження: заряджена частинка НЕ випромінює електромагнітні хвилі у вакуумі, коли вона...

А	Б	В	Г
...рухається рівномірно по колу	...рухається прямолінійно рівноприскорено	...рухається прямолінійно рівномірно	...рухається криволінійно нерівномірно

Розв'язання. Як відомо з теорії електромагнітного поля Дж. Максвелла, заряджена частинка обов'язково випромінює електромагнітні хвилі, якщо рухається з прискоренням. А будь-який криволінійний рух — це рух з прискоренням (увесь час змінюється напрямок швидкості руху). Єдиний рух без прискорення — це прямолінійний рівномірний рух. Правильна відповідь В.

20. Виберіть правильне твердження щодо електромагнітної хвилі, яка поширюється у вакуумі ($\vec{E}$ і $\vec{B}$ — відповідно напруженість електричного поля та індукція магнітного поля хвилі).

А	Б	В	Г
Коливання $\vec{E}$ і $\vec{B}$ відбуваються вздовж одного напрямку	Електромагнітна хвиля є поперечною	Різниця фаз коливань $\vec{E}$ і $\vec{B}$ у кожній точці становить $\frac{\pi}{2}$	Електромагнітна хвиля є поздовжньою

Розв'язання. Як випливає з теорії Д. Максвелла, електромагнітна хвиля є навіть «двічі поперечною»: коливання обох векторів $\vec{E}$ і $\vec{B}$ відбуваються в напрямках, перпендикулярних до напрямку поширення хвилі. Крім того, напрямки коливань $\vec{E}$ і $\vec{B}$ перпендикулярні один до одного. При цьому в кожній точці зазначені коливання відбуваються в одній фазі (E і B одночасно сягають максимальних значень, одночасно зменшуються до нуля). Отже, правильна відповідь Б.

21. Електроємність конденсатора коливального контуру радіоприймача $C = 80$ пФ, а індуктивність котушки контуру $L = 5$ мкГн. Визначте довжину хвилі λ, на яку настроєний радіоприймач. Вважайте, що $\pi = 3$; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
6 м	12 м	18 м	36 м

Розв'язання. Скориставшись формулою Томсона, визначимо період вільних коливань у коливальному контурі: $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Довжина електромагнітної хвилі з таким періодом $\lambda = cT = 2\pi c\sqrt{LC} = 36$ м. Правильна відповідь Г.

22. Визначте процес, який дозволяє виділити коливання звукової частоти з прийнятого радіотелефонного сигналу.

А	Б	В	Г
Підсилення	Модуляція	Детектування	Регулювання

Розв'язання. Спрощена схема радіотелефонного зв'язку виглядає так: звуковий сигнал перетворюють на електричний тієї самої (звукової) частоти, потім його «об'єднують» із сигналом високої частоти (отримують модульований сигнал), антена випромінює електромагнітні хвилі, приймальна антена «перетворює» їх на слабкі електричні сигнали (усе ще модульовані), у приймачі відбувається виділення з модульованого сигналу коливань звукової частоти (це й є детектування), підсилення отриманих коливань і перетворення їх з електричних знову на звукові. Отже, правильна відповідь В.

23. Визначте, на якій довжині хвилі може прийняти сигнал радіоприймач, якщо індуктивність коливального контуру $L = 0{,}4$ мГн, а електроємність конденсатора контуру може змінюватися від $C_1 = 36$ пФ до $C_2 = 64$ пФ. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
68 м	244 м	345 м	428 м

Розв'язання. Змінюючи електроємність, можна настроїти радіоприймач на будь-яку довжину хвилі в інтервалі від $\lambda_1 = 2\pi c\sqrt{LC_1} = 226$ м до $\lambda_2 = 2\pi c\sqrt{LC_2} = 300$ м. Тільки одне з наведених значень довжини хвилі (244 м) належить цьому інтервалу. Правильна відповідь Б. (Зазначимо, що наведені значення довжини хвилі сильно відрізняються одне від одного, тому дуже ретельні обчислення не потрібні: можна було б навіть вважати, що $\pi = 3$.)

24. Визначте діапазон радіохвиль, які застосовують у радіолокації.

А	Б	В	Г
Довгі хвилі	Довгі та середні хвилі	Середні хвилі	Ультракороткі хвилі

Розв'язання. Для радіолокації потрібно перш за все створити вузький пучок радіохвиль у певному напрямку. Через явище дифракції це можна зробити тільки застосовуючи радіохвилі з малою довжиною хвилі (за великої довжини хвилі поширюватимуться практично в усіх напрямках). Отже, правильна відповідь Г.

25. Щосекунди радіолокатор випромінює $n = 1500$ імпульсів. Визначте найбільшу дальність $l_{\max}$ виявлення цілі, якщо ця дальність не обмежена потужністю радіолокатора. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
100 км	150 км	200 км	450 км

Розв'язання. Відбитий від цілі радіоімпульс має повернутися до радіолокатора ще до початку випромінювання наступного імпульсу. Відповідний час дорівнює $\frac{t}{n}$, де $t = 1$ с. Оскільки сигнал має пройти відстань $l_{\max}$ двічі (в обидва боки), $l_{\max} = \frac{ct}{2n} = 10^5$ м. Правильна відповідь А.

26. Радіолокатор випромінює короткі імпульси радіохвиль, частота яких $\nu = 1{,}2$ ГГц. Тривалість кожного імпульсу $\tau = 1{,}5$ мкс. Визначте кількість N коливань у кожному імпульсі.

А	Б	В	Г
80	180	800	1800

Розв'язання. Очевидно, що шукана кількість коливань визначається тим, у скільки разів тривалість імпульсу перевищує період T коливань: $N = \frac{\tau}{T}$. Оскільки $T = \frac{1}{\nu}$, отримуємо $N = \nu\tau = 1800$. Правильна відповідь Г.

27. Радіолокатор випромінює імпульси тривалістю $\tau = 3$ мкс. Визначте мінімальну відстань $l_{\min}$, на якій цей радіолокатор може знайти ціль. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
100 м	300 м	450 м	900 м

Розв'язання. Мінімальна дальність виявлення цілі обмежена тим, що відбитий від цілі радіоімпульс має повернутися до радіолокатора вже після закінчення випромінювання даного імпульсу (під час випромінювання неможливо приймати відбитий імпульс). Оскільки сигнал має пройти відстань $l_{\min}$ двічі (в обидва боки), $l_{\min} = \frac{c\tau}{2} = 450$ м. Правильна відповідь В.

Другий рівень

1. Під час вільних коливань у контурі амплітудне значення сили струму $I_{\text{М}} = 1$ А. Електроємність конденсатора $C = 30$ мкФ, індуктивність котушки $L = 27$ мГн. Визначте амплітудне значення заряду $q_{\text{М}}$ конденсатора, вважаючи коливання незатухаючими.

А	Б	В	Г
0,11 мКл	0,9 мКл	1,1 мКл	9 мКл

Розв'язання. Можна скористатися законом збереження енергії. Повна енергія незатухаючих коливань дорівнює максимальній енергії магнітного поля котушки $\frac{LI_{\text{М}}^2}{2}$ або максимальній енергії електричного поля конденсатора $\frac{CU_{\text{М}}^2}{2} = \frac{q_{\text{М}}^2}{2C}$. Отже, $\frac{LI_{\text{М}}^2}{2} = \frac{q_{\text{М}}^2}{2C}$, звідки $q_{\text{М}} = I_{\text{М}}\sqrt{LC} = 9 \cdot 10^{-4}$ Кл. Правильна відповідь Б. (Такого висновку можна було дійти й інакше: оскільки сила струму є похідною від заряду, між їх амплітудними значеннями є співвідношення $I_{\text{М}} = \omega q_{\text{М}}$. Залишається врахувати, що $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.)

2. Коливальний контур складається з котушки індуктивністю $L = 75$ мкГн та плоского конденсатора з площею кожної пластини $S = 40$ см^2 і відстанню між пластинами $d = 0{,}1$ мм. Визначте діелектричну проникність ε діелектрика, який заповнює конденсатор, якщо контур настроєно на частоту $\nu = 400$ кГц. Вважайте, що $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$. Відповідь наведіть з точністю до 0,1.

Розв'язання. Частота, на яку настроєно контур, $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Скориставшись формулою електроємності плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$, отримаємо $\varepsilon = \frac{d}{4\pi^2 \varepsilon_0 \nu^2 LS} = \frac{kd}{\pi \nu^2 LS} \approx 6$.

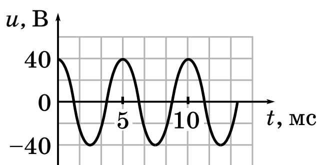
Відповідь: 6,0.

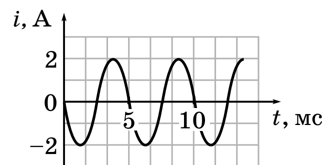
3. Коливальний контур складається з конденсатора електроємністю $C = 0{,}5$ мкФ і котушки з індуктивністю $L = 300$ мкГн. Конденсатор спочатку зарядили до напруги $U_0 = 100$ В. Визначте силу струму i в контурі (*в амперах*) у момент, коли напруга на конденсаторі зменшиться до $u = 20$ В. Конденсатор і котушку вважайте ідеальними, опір провідників не враховуйте.

Розв'язання. З умови випливає, що в контурі немає втрат енергії. Тому початкова енергія зарядженого конденсатора $W_0 = \frac{CU_0^2}{2}$ дорівнює загальній енергії контуру в кінцевий момент $W = \frac{Cu^2}{2} + \frac{Li^2}{2}$. Звідси отримуємо $i = \sqrt{\frac{C\left(U_0^2 - u^2\right)}{L}} = 4$ А.

Відповідь: 4.

4. На рисунках подано графіки змін напруги u на конденсаторі коливального контуру та сили струму i в котушці цього контуру залежно від часу t. Визначте (*у мікрофарадах*) електроємність конденсатора контуру. Відповідь округліть до 1 мкФ.

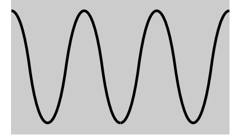




Розв'язання. За графіками визначаємо амплітудні значення напруги ($U_М = 40$ В) і сили струму ($I_М = 2$ А), а також період коливань ($T = 5$ мс). Скористаємося формулою Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$ та співвідношенням $\frac{CU_М^2}{2} = \frac{LI_М^2}{2}$, яке випливає із закону збереження енергії. Розв'язавши систему з двох рівнянь, отримаємо $C = \frac{TI_М}{2\pi U_М} = 40$ мкФ.

Відповідь: 40.

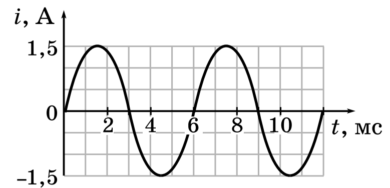
5. На рисунку наведено осцилограму змінного струму частотою 6 кГц. Визначте частоту розгортки осцилографа.



А	Б	В	Г
1 кГц	2 кГц	18 кГц	36 кГц

Розв'язання. Як бачимо з рисунка, протягом одного періоду розгортки електронний промінь встигає «намалювати» три повні коливання. Отже, період розгортки втричі більший за період змінного струму. Частота ж розгортки втричі менша від частоти змінного струму. Правильна відповідь Б.

6. На рисунку подано графік залежності сили струму i від часу t при вільних електромагнітних коливаннях у контурі. Визначте електроємність C конденсатора та амплітудне значення напруги $U_М$ на ньому, якщо індуктивність котушки $L = 0,2$ Гн. Вважайте, що $\pi^2 = 10$.



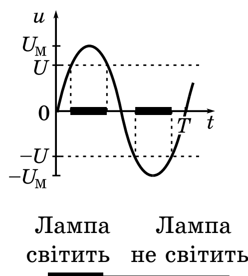
А	Б	В	Г
9 мкФ; 158 В	4,5 мкФ; 158 В	4,5 мкФ; 316 В	9 мкФ; 316 В

Розв'язання. Як бачимо з рисунка, період вільних коливань $T = 6$ мс, а амплітудне значення сили струму $I_М = 1,5$ А. З формули Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$ знаходимо $C = \frac{T^2}{4\pi^2 L} = 4,5 \cdot 10^{-6}$ Ф. Із закону збереження енергії випливає співвідношення $\frac{CU_М^2}{2} = \frac{LI_М^2}{2}$, звідки $U_М = \sqrt{\frac{L}{C}} I_М = 316$ В. Правильна відповідь В.

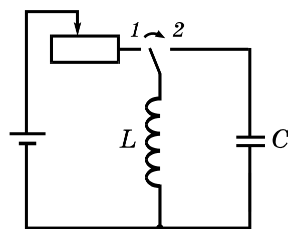
7. Неонова лампа спалахує та гасне при напрузі $U = 80$ В. Цю лампу приєднано до мережі змінної напруги 80 В, 400 Гц. Якою є частота спалахів лампи? Скільки часу світить лампа протягом кожного періоду змінної напруги?

А	Б	В	Г
400 Гц; 0,4 мс	400 Гц; 1,25 мс	800 Гц; 1,25 мс	800 Гц; 0,4 мс

Розв'язання. Неонова лампа спалахує (гасне) практично миттєво, коли *модуль* напруги стає більшим (меншим), ніж U. Оскільки амплітудне значення напруги в даному випадку перевищує це значення $\left(U_\text{М} = \sqrt{2}\,U\right)$, лампа спалахує *двічі* протягом кожного періоду. Отже, частота спалахів 800 Гц. Щоб зробити відповідь на друге запитання наочною, скористаємося графіком (див. рисунок). Вважаємо, що $u = U_\text{М}\sin\omega t$ (заміна $\cos\omega t$ на $\sin\omega t$ відповідає просто іншому вибору початку відліку часу). Протягом одного періоду моменти, коли $|u| = U$, відповідають таким значенням ωt: $\frac{\pi}{4}$, $\frac{3\pi}{4}$, $\frac{5\pi}{4}$, $\frac{7\pi}{4}$. Інакше кажучи, це моменти $\frac{T}{8}$, $\frac{3T}{8}$, $\frac{5T}{8}$, $\frac{7T}{8}$. Лампа світить половину періоду, тобто $\frac{1}{800}$ с (або 1,25 мс). Правильна відповідь В.



8. В електричному колі (див. рисунок) внутрішній опір джерела струму $r = 2$ Ом, повний опір реостата $R_1 = 16$ Ом. Спочатку ковзний контакт реостата містився в крайньому лівому положенні, а ключ — у положенні 1. Коли ключ перевели в положення 2, у котушці та конденсаторі виникли вільні електромагнітні коливання. Потім опір реостата зменшили до $R_2 = 7$ Ом і повторили дослід. Визначте, у скільки разів збільшилася амплітуда коливань, якщо конденсатор і котушку можна вважати ідеальними.



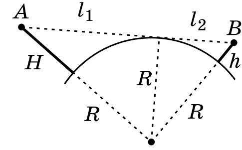
Розв'язання. Відразу після переведення ключа в положення 2 у котушці коливального контуру тече струм (такий самий, як і до переведення), а напруга на конденсаторі дорівнює нулю. Після цього конденсатор заряджатиметься, а сила струму зменшуватиметься до нуля, потім напрямок струму зміниться на протилежний — у контурі виникнуть вільні коливання. Очевидно, що їх амплітуда прямо пропорційна початковій силі струму. Котушка індуктивності ніяк не

впливає на постійний струм у колі; початкову силу струму визначимо, скориставшись законом Ома для повного кола: у першому досліді $I_1 = \frac{\mathscr{E}}{r+R_1}$, у другому $I_2 = \frac{\mathscr{E}}{r+R_2}$. Отже, в другому досліді початкова сила струму та амплітуда коливань збільшилися. Шукане відношення $\frac{I_2}{I_1} = \frac{r+R_1}{r+R_2} = 2$. *Відповідь:* 2.

9. Висота передавальної антени телецентру $H = 320$ м. Визначте граничну дальність l упевненого приймання телепрограм за висоти приймальної антени $h = 20$ м. Радіус Землі $R = 6400$ км.

А	Б	В	Г
40 км	60 км	80 км	100 км

Розв'язання. Слід урахувати, що телетрансляція здійснюється в діапазоні ультракоротких радіохвиль, які поширюються практично прямолінійно. Отже, кривизна поверхні Землі обмежує дальність передачі. Гранична дальність відповідає випадку, коли пряма «передатчик — приймач» є дотичною до поверхні Землі (див. рисунок). Оскільки висота антен набагато менша від радіусу Землі, шукану відстань можна відміряти по прямій AB, а не вздовж поверхні Землі. Тоді $l = l_1 + l_2 = \sqrt{(R+H)^2 - R^2} + \sqrt{(R+h)^2 - R^2} \approx \sqrt{2RH} + \sqrt{2Rh}$ (ми знехтували, наприклад, доданком H^2, набагато меншим від $2RH$). Підставивши числові значення, отримаємо $l \approx 80$ км. Правильна відповідь В.



Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Під час незатухаючих вільних електромагнітних коливань при заряджанні конденсатора коливального контуру зменшується...

А	Б	В	Г
...енергія магнітного поля котушки	...енергія електричного поля конденсатора	...частота електромагнітних коливань	...період електромагнітних коливань

2. Конденсатор електроємністю 250 пФ і котушка індуктивністю 10 мГн утворюють коливальний контур. Визначте період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі, вважаючи, що $\pi = \sqrt{10}$.

А	Б	В	Г
10 мкс	15 мкс	25 мкс	50 мкс

3. Визначте, як зміниться частота вільних електромагнітних коливань у контурі, якщо електроємність конденсатора збільшити в 3,6 разу, а індуктивність котушки — в 2,5 разу.

А	Б	В	Г
Зменшиться в 3 рази	Зменшиться в 9 разів	Збільшиться в 3 рази	Збільшиться в 9 разів

4. Електроємність конденсатора коливального контуру дорівнює 5 мкФ, а частота вільних коливань у контурі становить 2 кГц. Визначте індуктивність котушки. Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

А	Б	В	Г
0,45 мГн	1,25 мГн	2,25 мГн	3,25 мГн

5. Індуктивність котушки коливального контуру можна змінювати від 0,12 до 1,2 мГн, а електроємність конденсатора — від 120 до 1200 пФ. Визначте, яка частота належить до діапазону частот власних коливань даного контуру.

А	Б	В	Г
50 кГц	100 кГц	1 МГц	1,5 МГц

6. При збільшенні електроємності конденсатора коливального контуру на 0,42 мкФ частота коливань зменшилась у 2,5 разу. Визначте початкову електроємність конденсатора, якщо індуктивність котушки не змінилася.

А	Б	В	Г
0,06 мкФ	0,08 мкФ	0,12 мкФ	0,16 мкФ

7. Частота вільних електромагнітних коливань у контурі дорівнює 2 кГц. Визначте, скільки разів щосекунди заряд конденсатора дорівнює нулю.

А	Б	В	Г
1000	2000	4000	8000

8. Під час вільних незатухаючих коливань у коливальному контурі максимальна сила струму в котушці дорівнює 3 А. Визначте максимальне значення енергії електричного поля конденсатора, якщо індуктивність котушки становить 20 мГн.

А	Б	В	Г
30 мДж	90 мДж	180 мДж	600 мДж

9. Коливальний контур складається з конденсатора електроємністю 0,5 мкФ і котушки з індуктивністю 200 мкГн. Конденсатор спочатку зарядили до напруги 120 В. Визначте амплітудне значення сили струму.

А	Б	В	Г
0,3 А	4,8 А	6 А	12 А

10. Заряд на обкладці конденсатора коливального контуру зменшується. У деякий момент він дорівнює половині амплітудного значення. Визначте, через яку частину періоду T коливань цей заряд зменшиться до нуля.

А	Б	В	Г
$\frac{T}{12}$	$\frac{T}{6}$	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{3}$

11. Коливання напруги на конденсаторі в колі змінного струму описуються рівнянням $u = 30\cos 100\pi t$. Електроємність конденсатора дорівнює 5 мкФ. Визначте заряд конденсатора через чверть періоду після початку відліку часу.

А	Б	В	Г
150 мкКл	75 мкКл	6 мкКл	0

12. Частота власних коливань у контурі дорівнює 15 кГц, а амплітудне значення заряду конденсатора становить 6 мкКл. Визначте амплітудне значення сили струму в контурі (з точністю до 0,1 А).

А	Б	В	Г
0,1 А	0,2 А	0,3 А	0,6 А

13. Сила струму в електричному нагрівачі змінюється за законом $i = 4{,}2\sin\left(100\pi t + \frac{\pi}{4}\right)$. Визначте (приблизно) показ амперметра змінного струму, підключеного послідовно до цього нагрівача.

А	Б	В	Г
2,1 А	3 А	6 А	8,4 А

14. Напруга на первинній обмотці трансформатора дорівнює 36 В, а на вторинній — 220 В. Визначте правильне твердження.

А	Б	В	Г
Діаметр проводів у первинній обмотці більший	Потужність струму більша у вторинній обмотці	Кількість витків у первинній обмотці більша	У робочому режимі сила струму більша у вторинній обмотці

15. Відомо, що трансформатор під навантаженням гуде. Визначте причину виникнення звуку.

А	Б	В	Г
Коливання повітря під дією електромагнітного поля	Коливання витків первинної та вторинної обмоток	Коливання пластинок осердя під час перемагнічування	Коливання температури обмоток та осердя під дією змінного струму

16. Під час роботи теплової електростанції...

А	Б	В	Г
...енергія палива перетворюється на потенціальну енергію	...турбіна приводить в обертання ротор генератора	...ротор генератора приводить в обертання турбіну	...гаряча пара обертає ротор генератора

17. Космічний апарат надіслав до центру керування польотом (ЦКП) повідомлення. Визначте максимально можливу відстань від ЦКП до цього апарата, якщо відповідь надійшла через 18 хв. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
54 млн км	162 млн км	324 млн км	648 млн км

18. Визначте частоту електромагнітної хвилі, якщо довжина хвилі дорівнює 60 м. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
2 МГц	5 МГц	20 МГц	50 МГц

19. Коливальний контур радіоприймача настроєно на частоту 6 МГц. Визначте, як і в скільки разів потрібно змінити електроємність конденсатора контуру, щоб настроїти радіоприймач на довжину хвилі 150 м. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
Зменшити в 3 рази	Зменшити в 9 разів	Збільшити в 3 рази	Збільшити в 9 разів

20. На рисунку подано експерименти з установкою для вивчення властивостей електромагнітних хвиль. Визначте фізичні явища, які спостерігаються в експериментах.



А	Б	В	Г
1 — інтерференція хвиль; 2 — заломлення хвиль	1 — дифракція хвиль; 2 — відбивання хвиль	1 — заломлення хвиль; 2 — поляризація хвиль	1 — заломлення хвиль; 2 — відбивання хвиль

21. Індуктивність коливального контуру радіоприймача дорівнює 1 мГн, а його електроємність можна змінювати від 50 до 400 пФ. Визначте довжину хвилі, на якій радіоприймач може прийняти сигнал. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
25 м	55 м	250 м	450 м

22. Передавач випромінює хвилю довжиною 100 м. Визначте, скільки електромагнітних коливань відбувається протягом одного періоду звукових коливань з частотою 500 Гц. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
2000	3000	5000	6000

23. Визначте, в якому переліку елементи системи радіотелефонного зв'язку розташовані в тому порядку, в якому через них проходить сигнал під час прямої трансляції.

А	Б	В	Г
Детектор, модулятор, мікрофон, динамік	Мікрофон, модулятор, детектор, динамік	Динамік, модулятор, мікрофон, детектор	Мікрофон, детектор, модулятор, динамік

24. Визначте, якою має бути частота випромінювання високочастотних імпульсів радіолокатора, щоб найбільша дальність виявлення цілі цим локатором становила 240 км. Дальність виявлення не обмежена потужністю радіолокатора. Швидкість світла у вакуумі дорівнює $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
120 імпульсів за секунду	312 імпульсів за секунду	625 імпульсів за секунду	840 імпульсів за секунду

25. Визначте тривалість кожного імпульсу радіолокатора, якщо мінімальна дальність виявлення цілі дорівнює 900 м. Швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
3 мкс	6 мкс	9 мкс	12 мкс

26. Радіолокатор щосекунди випромінює 1250 імпульсів тривалістю по 4 мкс. Визначте, у скільки разів максимальна дальність виявлення цілі перевищує мінімальну.

А	Б	В	Г
У 200 разів	У 250 разів	У 300 разів	У 500 разів

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Формула $i = 2\cos\left(400\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$ описує залежність від часу сили струму в котушці коливального контуру при вільних незатухаючих коливаннях (значення всіх величин наведено в СІ). Установіть відповідність між характеристикою коливань та числовим значенням.

1 Частота
2 Період
3 Початкова фаза
4 Амплітудне значення сили струму

А 200
Б $\frac{\pi}{2}$
В 2
Г $5\cdot 10^{-3}$
Д 400π

28. У коливальному контурі електроємність конденсатора дорівнює 1 мкФ, індуктивність котушки — 10 мГн, амплітудне значення напруги на конденсаторі — 10 В. Установіть відповідність між характеристикою вільних електромагнітних коливань у контурі та числовим значенням величини в СІ. Вважайте, що $\pi = 3{,}1$.

1 Період
2 Циклічна частота
3 Амплітудне значення заряду
4 Амплітудне значення сили струму

А 10^4
Б 10^{-5}
В 10^5
Г $6{,}2\cdot 10^{-4}$
Д 0,1

29. У момент часу $t=0$ в колі замикають ключ і заряджений конденсатор починає розряджатися через котушку індуктивності. Установіть відповідність між фізичною величиною та характером залежності значення величини від часу. Конденсатор і котушку вважайте ідеальними, опір кола не враховуйте.

1 Напруга на конденсаторі
2 Енергія магнітного поля котушки
3 Енергія електричного поля конденсатора
4 Сила струму в котушці

А $\cos\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)$
Б $\cos\omega t$
В $\cos\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)$
Г $\cos^2\omega t$
Д $\sin^2\omega t$

30. Установіть відповідність між пристроєм у системі радіозв'язку та функціональним призначенням пристрою.

1 Динамік
2 Детектор
3 Мікрофон
4 Модулятор

А Перетворення електромагнітних коливань на звукові
Б Виділення низькочастотних коливань з модульованого сигналу
В Отримання напрямленого пучка радіохвиль
Г Перетворення звукових коливань на електромагнітні
Д Отримання модульованого радіосигналу

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Коли електроємність конденсатора коливального контуру збільшили на 3,5 мкФ, а індуктивність котушки збільшили в 1,5 разу, частота вільних електромагнітних коливань у контурі зменшилася в 3 рази. Визначте (*у мікрофарадах*) початкову електроємність конденсатора.

32. Під час незатухаючих коливань у контурі амплітудне значення сили струму дорівнює 5 А. Визначте (*у вольтах*) напругу на конденсаторі в момент, коли сила струму становить 1 А. Індуктивність котушки контуру дорівнює 5 мГн, електроємність конденсатора — 3 мкФ.

33. Амплітудне значення сили струму в коливальному контурі дорівнює 1,2 мА, амплітудне значення заряду конденсатора контуру становить 30 нКл. Визначте (*у мілісекундах*) період вільних коливань у контурі, вважаючи, що $\pi = 3{,}1$.

34. Рамка площею $400\,\text{см}^2$ має 125 витків дроту. Рамка обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 20 мТл. Визначте (*у вольтах*) амплітудне значення ЕРС індукції в рамці, якщо обертова частота дорівнює $5\,\text{с}^{-1}$, а вісь обертання перпендикулярна до ліній магнітної індукції поля. Вважайте, що $\pi = 3{,}14$.

35. Напруженість електричного поля електромагнітної хвилі у вакуумі в деякій точці змінюється від максимального значення до нуля за 2 мкс. Визначте (*у кілометрах*) довжину хвилі, якщо швидкість світла у вакуумі дорівнює $3 \cdot 10^8$ м/с.

36. Передавальна антена телецентру розташована на висоті 80 м. Визначте (*у метрах*) найменшу можливу висоту приймальної антени, віддаленої від передатчика на 40 км. Радіус Землі дорівнює 6400 км.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: 2,

чи такий: 2,0

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: 2,5

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: –2,05

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 ,5

чи такий: 2, 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Місце виправлення помилкової відповіді

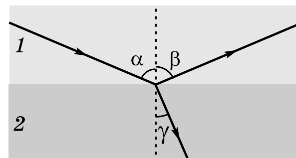
Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31	,	33	,	35	,
32	,	34	,	36	,

Розділ 14. ОПТИКА

Що треба згадати

Відбивання та заломлення світла



Падаючий, відбитий і заломлений промені лежать у площині, перпендикулярній до межі двох середовищ.

$\alpha = \beta$, $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{2-1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$, де α — кут падіння, β — кут відбивання, γ — кут заломлення променя; n_{2-1} — показник заломлення середовища 2 відносно середовища 1; $n_1 = \frac{c}{v_1}$ і $n_2 = \frac{c}{v_2}$ — абсолютні показники заломлення двох середовищ; v_1 і v_2 — швидкість світла відповідно в першому та другому середовищах.

Граничний кут повного відбивання на межі з вакуумом: $\sin\alpha_{\text{гран}} = \frac{1}{n}$.

Оптична сила лінзи: $D = \frac{1}{F}$, де F — фокусна відстань лінзи;

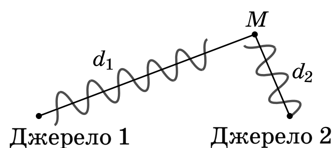
збиральна лінза ↕: $D > 0$, $F > 0$;

розсіювальна лінза: $D < 0$, $F < 0$.

Формула тонкої лінзи: $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$ (тут d — відстань між лінзою та предметом; $|f|$ — відстань між лінзою та зображенням; для уявного зображення $f < 0$).

Лінійне збільшення тонкої лінзи: $\Gamma = \left|\frac{f}{d}\right|$.

Різниця ходу когерентних світлових хвиль: $\Delta d = |d_1 - d_2|$ (див. рисунок).



- **Умова інтерференційних максимумів:** $\Delta d = k\lambda$, де λ — довжина хвилі; $k = 0, 1, 2, \ldots$

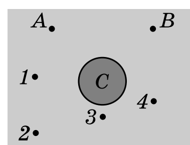
- **Умова інтерференційних мінімумів:** $\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$, де λ — довжина хвилі; $k = 0, 1, 2, \ldots$

- **Формула дифракційної ґратки:** $d\sin\varphi = k\lambda$, де d — період дифракційної ґратки; φ — кут відхилення світла; $k = 0, 1, 2, \ldots$ — порядок максимуму; λ — довжина хвилі світла.

Учимося виконувати тестові завдання

Перший рівень

1. Точкові джерела світла A і B розташовані неподалік від колони C (на рисунку показано вигляд згори). Визначте точки, які розташовані в півтіні.



А	Б	В	Г
Точки 1 і 2	Точки 2 і 4	Точки 1 і 3	Точки 3 і 4

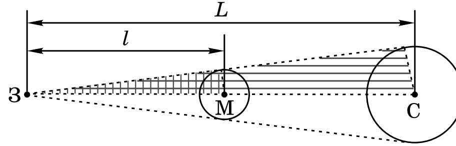
Розв’язання. Точка розташована в півтіні, якщо до неї доходить світло тільки від одного з двох джерел. Ураховуючи прямолінійність світлових променів, легко переконатися: до точки 1 доходить світло від обох джерел, а до точки 3 не доходить світло від жодного. До точки 2 доходить світло тільки від джерела A, до точки 4 — тільки від джерела B. Правильна відповідь Б.

2. Місяць потроху віддаляється від Землі. Визначте, починаючи з якої відстані l між поверхнею Землі та центром Місяця не буде повних сонячних затемнень на Землі. Вважайте, що радіус Сонця більший за радіус Місяця у $k = 375$ разів. Відстань від Землі до Сонця $L = 150$ млн км.

А	Б	В	Г
400 000 км	500 000 км	600 000 км	700 000 км

Розв’язання. На рисунку схематично показано конус повної тіні, що відкидає місяць (М), коли на нього падає світло Сонця (С). Значення l дорівнює відстані між вершиною конуса та центром Місяця. Із подібності трикутників,

виділених на рисунку горизонтальною та вертикальною штриховкою, випливає: $l = \frac{L}{k} = 400\,000$ км. Правильна відповідь А.



3. Глибоководний апарат вмикає напрямлений вгору прожектор на глибині $h = 900$ м. Визначте, за який час t світло доходить до поверхні води. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, показник заломлення води $n = \frac{4}{3}$.

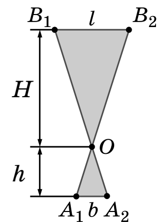
А	Б	В	Г
2,25 мкс	3 мкс	4 мкс	6 мкс

Розв'язання. Швидкість світла у воді $v = \frac{c}{n}$. Отже, час поширення світла до поверхні води $t = \frac{h}{v} = \frac{hn}{c} = 4 \cdot 10^{-6}$ с. Правильна відповідь В.

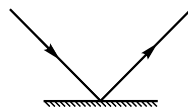
4. Автомобільна колона зупинилася на прямій ділянці шосе. Водій автомобіля, розташованого посередині колони, відійшов від шосе на відстань $H = 150$ м, рухаючись перпендикулярно до шосе. Водій дивиться на колону, тримаючи в руці на відстані $h = 12$ см від очей вертикально розташований олівець. Якщо водій примружує ліве око, олівець закриває йому перший автомобіль у колоні, якщо примружує праве око — останній автомобіль. Визначте довжину l колони, якщо відстань між зіницями очей водія $b = 6$ см.

А	Б	В	Г
75 м	60 м	45 м	30 м

Розв'язання. На рисунку O — олівець, A_1 і A_2 — очі водія, B_1 і B_2 — перший і останній автомобілі колони (вважаємо їх матеріальними точками). Із подібності виділених на рисунку трикутників випливає, що $\frac{l}{b} = \frac{H}{h}$ (оскільки $H \gg h$, відстань H можна відраховувати від олівця, а не від очей). Звідси $l = b\frac{H}{h} = 75$ м. Правильна відповідь А.



5. Визначте, як зміниться кут між падаючим на дзеркало променем і відбитим променем (див. рисунок), якщо дзеркало повернути на 10° проти ходу годинникової стрілки.



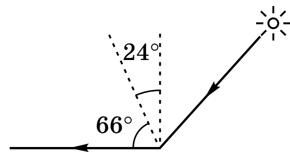
А	Б	В	Г
Зменшиться на 20°	Зменшиться на 10°	Збільшиться на 10°	Збільшиться на 20°

Розв'язання. Кут між падаючим і відбитим променями дорівнює сумі кутів падіння та відбивання, тобто вдвічі більший за кут падіння. Якщо повернути дзеркало на 10° проти ходу годинникової стрілки, то кут падіння зменшиться на 10°. Отже, кут між променями зменшиться на 20°. Правильна відповідь А.

6. О 12-й годині Сонце розташоване точно на півдні, його промені падають під кутом 48° до горизонту. Визначте, під яким кутом до горизонту треба розташувати плоске дзеркало, щоб відбиті сонячні промені йшли горизонтально на північ.

А	Б	В	Г
24°	42°	48°	72°

Розв'язання. На рисунку показано падаючий і відбитий промені, а також бісектрису кута між ними (кут між бісектрисою та кожним із променів становить $\frac{132^\circ}{2}=66^\circ$). Із закону відбивання світла випливає, що ця бісектриса — перпендикуляр до площини дзеркала. Оскільки він утворює кут $90^\circ-66^\circ=24^\circ$ з вертикаллю, площина дзеркала утворює такий самий кут з горизонтом. Правильна відповідь А.



7. Визначте стрілку, яка є зображенням стрілки *AB* у плоскому дзеркалі (рис. 1).

А	Б	В	Г
Стрілка 1	Стрілка 2	Стрілка 3	Стрілка 4

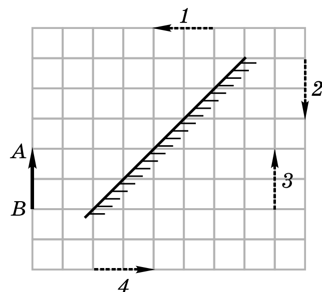


Рис. 1

Розв'язання. Зображення точки в плоскому дзеркалі й власне сама точка розташовані симетрично відносно

площини дзеркала (тобто лежать на одному перпендикулярі до цієї площини на однакових відстанях від неї). На рис. 2 схематично показано побудову зображення A_1B_1 стрілки AB. Правильна відповідь Г.

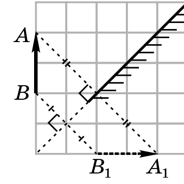


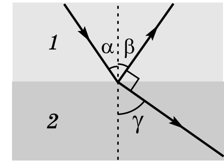
Рис. 2

8. Промінь світла падає зі скла на межу поділу «скло — вода». Визначте (приблизно) кут падіння α, за якого відбитий і заломлений промені перпендикулярні один до одного. Показник заломлення скла $n_1 = 1{,}60$; показник заломлення води $n_2 = 1{,}33$. Скористайтеся наведеною таблицею.

Кут α, °	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
tgα	0,73	0,78	0,84	0,90	0,97	1,04	1,11	1,19	1,28	1,38

А	**Б**	**В**	**Г**
36°	40°	44°	52°

Розв'язання. Відбитий і заломлений промені перпендикулярні один до одного за умови $\beta + \gamma = 90°$ (див. рисунок). За законами відбивання та заломлення світла $\beta = \alpha$, $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1}$, звідки $\frac{\sin\alpha}{\sin(90° - \alpha)} = \frac{n_2}{n_1}$. Отже, $\text{tg}\,\alpha = \frac{n_2}{n_1} \approx 0{,}83$. Правильна відповідь Б.



9. На рисунках схематично показано можливий хід вузького пучка світла, який падає з повітря на поверхню плоскопаралельної скляної пластинки. Визначте рисунок, на якому припустилися помилки.

А	**Б**	**В**	**Г**

Розв'язання. На поверхнях плоскопаралельної пластинки світло двічі зазнає заломлення (після цього пучок поширюється в тому самому напрямку, але зміщується). Це показано на рисунку А. Частина пучка зазнає дзеркального відбивання на верхній або нижній поверхні пластинки (рисунки Б і Г). На рисунку В заломлення показане неправильно (оскільки оптична густина скла більша за оптичну густину повітря, кут заломлення світла у склі має бути меншим від кута падіння світла з повітря). Правильна відповідь В.

10. Визначте, який з поданих променів зазнає повного відбивання на межі поділу повітря та води. Вважайте, що показник заломлення повітря дорівнює 1, показник заломлення води $n = \frac{4}{3}$. Скористайтесь наведеною таблицею.

Кут α, °	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$\sin\alpha$	0,64	0,67	0,69	0,72	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,85

А	Б	В	Г
Повітря Вода	Повітря Вода	Повітря Вода	Повітря Вода



Відомо, що повне відбивання спостерігається, коли світло йде з середовища з більшою оптичною густиною (тобто з більшим показником заломлення). Отже, відповіді А і В не можуть бути правильними. Якщо ж світло йде з води, для повного відбивання має виконуватися умова $\sin\alpha > \frac{1}{n}$, тобто в даному випадку $\sin\alpha > 0{,}75$. З таблиці бачимо, що має бути $\alpha > 49°$. Правильна відповідь Г.

11. Визначте скляну лінзу, яка допоможе розгледіти дрібні предмети.

А	Б	В	Г

Розв'язання. Очевидно, що лінза має дати збільшене уявне зображення. Таке зображення може дати тільки збиральна лінза. Відомо, що скляна двоопукла лінза є збиральною, а увігнута з обох боків — розсіювальною. Якщо ж лінза з одного боку опукла, а з другого — увігнута, то слід скористатися простим критерієм: якщо скляна лінза в повітрі має найбільшу товщину посередині, то лінза збиральна; якщо ж по краях — лінза розсіювальна. Правильна відповідь Б.

12. На рис. 1 подано головну оптичну вісь MN тонкої лінзи, світну точку S та її зображення S_1. Визначте тип лінзи та співвідношення між d (відстанню від світної точки до площини лінзи) і фокусною відстанню F лінзи.

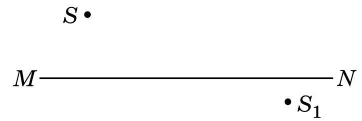


Рис. 1

А	Б	В	Г
Лінза збиральна; $d > 2F$	Лінза збиральна; $F < d < 2F$	Лінза збиральна; $d < F$	Лінза розсіювальна; $d > \lvert F \rvert$

Розв'язання. Уявімо, що в точці S розташована верхівка стрілки A (рис. 2). Тоді в точці S_1 розташована верхівка зображення A_1 цієї стрілки. Очевидно, що це зображення обернене (перевернуте), дійсне (уявні зображення в лінзі завжди прямі) та зменшене. Таке зображення дає тільки збиральна лінза за умови $d > 2F$. Правильна відповідь А.



Рис. 2

13. Запалену свічку поставили перед збиральною лінзою з оптичною силою $D = 4$ дптр. Визначте відстань l між свічкою та її зображенням, якщо відстань між свічкою та лінзою дорівнює 0,5 м.

А	Б	В	Г
0,75 м	1 м	1,25 м	1,5 м



Тут громіздкі розрахунки не потрібні. Досить помітити, що фокусна відстань лінзи $F = \frac{1}{D} = 0{,}25$ м. Отже, свічка розташована на відстані $2F$ від лінзи. У такому випадку дійсне зображення розташоване з іншого боку від лінзи теж на відстані $2F$. Отже, $l = 4F$. Правильна відповідь Б.

14. Запалену свічку поставили перед збиральною лінзою з оптичною силою $D = 2$ дптр. Визначте відстань l між свічкою та її зображенням, якщо відстань між свічкою та лінзою $d = 0{,}25$ м.

А	Б	В	Г
0,25 м	0,5 м	0,75 м	1 м

Розв'язання. Скористаємося формулою тонкої лінзи $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D$. З неї випливає, що $f = \frac{d}{Dd - 1} = -0{,}5$ м. Від'ємне значення f (відстані між лінзою та зображенням) означає, що зображення є уявним і розташоване *з того самого боку* від лінзи, що й свічка. Отже, $l = |f| - d = 0{,}25$ м. Правильна відповідь А.

15. Збиральна лінза з оптичною силою $D = 2{,}2$ дптр дає на екрані зображення лампи, висота якої $h = 5$ см. Зображення має повністю поміститися на екрані. Визначте мінімальну висоту екрана, якщо він розташований на відстані $f = 5$ м від лінзи.

А	Б	В	Г
20 см	25 см	40 см	50 см

Розв'язання. Скористаємося формулою тонкої лінзи $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D$ і формулою збільшення лінзи $\Gamma = \frac{H}{h} = \left|\frac{f}{d}\right|$. У даному випадку зображення дійсне (тільки таке зображення можна спостерігати на екрані), тому значення всіх величин додатні. Із записаних формул отримуємо $d = \frac{f}{Df - 1}$ і $H = h(Df - 1) = 0{,}5$ м. Правильна відповідь Г.

16. Бабуся читає газети, розташовуючи їх на відстані $d = 50$ см від очей. Визначте оптичну силу D лінз потрібних бабусі окулярів. Відстань найкращого зору становить $d_0 = 25$ см.

А	Б	В	Г
−6 дптр	−2 дптр	2 дптр	6 дптр

Розв'язання. Якщо окуляри підібрані правильно, бабусі буде зручно читати, тримаючи газету на відстані d_0 від очей. Окуляри ж дадуть *уявне* зображення тексту на відстані d від очей, і це зображення буде «предметом» для ока. Отже,

згідно з формулою тонкої лінзи $D = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d} = 2$ дптр (лінзи окулярів мають бути збиральними, оскільки в бабусі далекозорість). Правильна відповідь В.

17. Визначте, за якої оптичної сили лінзу можна застосовувати як лупу.

А	Б	В	Г
−4 дптр	−2 дптр	4 дптр	20 дптр

Розв'язання. Лупою називають короткофокусну збиральну лінзу. Отже, її оптична сила $D > 0$. Фокусна відстань лупи має бути значно меншою від відстані найкращого зору (25 см); отже, оптична сила лупи має бути значно більшою за 4 дптр. Звідси випливає, що правильна відповідь Г.

18. На оправі лупи учень прочитав: «$10^{\times}$». Визначте оптичну силу D лупи. Відстань найкращого зору дорівнює 25 см.

А	Б	В	Г
25 дптр	40 дптр	80 дптр	100 дптр

Розв'язання. Напис позначає, що лупа дає збільшення $\Gamma = 10$. Збільшення ж лупи з фокусною відстанню F становить $\Gamma = \frac{d_0}{F}$, де $d_0 = 25$ см — відстань найкращого зору. Звідси $F = \frac{d_0}{\Gamma}$ і $D = \frac{1}{F} = \frac{\Gamma}{d_0} = 40$ дптр. Правильна відповідь Б.

19. Фокусна відстань об'єктива фотоапарата $F = 2{,}5$ см. Турист фотографує картину висотою $h = 1$ м із відстані $d = 5$ м. Визначте висоту H зображення, яке утворюється на світлочутливій поверхні.

А	Б	В	Г
2,5 мм	5 мм	10 мм	12,5 мм

Розв'язання. Згідно з формулою для лінійного збільшення лінзи (об'єктив фотоапарата «працює» як одна збиральна лінза) $\frac{H}{h} = \frac{f}{d}$, де f — відстань між лінзою та зображенням. У даному випадку немає потреби обчислювати значення f: оскільки $d \gg F$, промені від предмета можна вважати паралельними, тому зображення виникає у фокальній площині (f практично дорівнює F). Зрозуміло, що той самий висновок дістанемо з формули тонкої лінзи. Отже, $H = h\frac{F}{d} = 5 \cdot 10^{-3}$ м. Правильна відповідь Б.

20. Показник заломлення бензолу $n = 1{,}5$. Визначте, які характеристики (частота ν і довжина λ хвилі) відповідають світловій хвилі в бензолі. Швидкість поширення світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
$\nu = 4 \cdot 10^{14}$ Гц; $\lambda = 500$ нм	$\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц; $\lambda = 500$ нм	$\nu = 4 \cdot 10^{14}$ Гц; $\lambda = 450$ нм	$\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц; $\lambda = 400$ нм

Розв'язання. Швидкість поширення світла в бензолі $v = \frac{c}{n}$, а швидкість хвилі пов'язана з іншими її характеристиками співвідношенням $v = \lambda\nu$. Отже, треба визначити, для якої хвилі виконується співвідношення $\lambda\nu = \frac{c}{n}$. Правильна відповідь А.

21. Крихітний фотоелемент переміщують у повітрі вздовж відрізка, який з'єднує два когерентні точкові джерела світла з частотою $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц. Коли фотоелемент розташований посередині відрізка, потужність струму є максимальною. Визначте, на скільки треба перемістити фотоелемент, щоб сигнал зменшився до нуля. Вважайте, що швидкість поширення світла в повітрі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

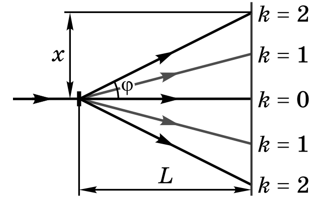
А	Б	В	Г
75 нм	125 нм	250 нм	375 нм

Розв'язання. Оскільки посередині відрізка дві світлові хвилі підсилюють одна одну, обидва джерела випромінюють світло з однаковою фазою. Довжина хвилі світла $\lambda = \frac{c}{\nu} = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Сигнал зменшується до нуля в інтерференційному мінімумі, тобто коли різниця ходу хвиль $\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$. Найменша різниця ходу хвиль дорівнює $\frac{\lambda}{2}$. Якщо відстань між джерелами дорівнює l, а точка розташована на відстані x від середини відрізка, то відстані від точки до джерел світла дорівнюють $\frac{l}{2} + x$ і $\frac{l}{2} - x$, а різниця ходу $\Delta d = 2x$. Звідси найменше можливе значення x становить $\frac{\lambda}{4}$ (тобто 125 нм). Правильна відповідь Б.

22. На дифракційну ґратку з періодом $d = 20$ мкм падає нормально світло з довжиною хвилі $\lambda = 600$ нм. Відстань між екраном і ґраткою $L = 3$ м. Визначте відстань x між спектрами нульового порядку та порядку $k = 2$ на екрані.

А	Б	В	Г
6 см	9 см	18 см	27 см

Розв'язання. Кут відхилення світла в спектрі порядку k визначимо з формули $d\sin\varphi = k\lambda$, а відхилення на екрані максимуму порядку k від нульового — з формули $x = L\mathrm{tg}\,\varphi$ (див. рисунок). Оскільки $\lambda \ll d$, кут відхилення світла малий і можна вважати, що $\mathrm{tg}\,\varphi = \sin\varphi$, звідки $x = \frac{k\lambda L}{d} = 0{,}18$ м. Правильна відповідь В.

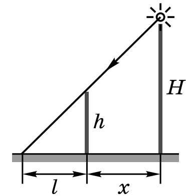


Другий рівень

1. Увечері провулок освітлений єдиним ліхтарем на верхівці стовпа. Учень, зріст якого $h = 1{,}6$ м, помітив: коли він підійшов до ліхтарного стовпа ближче на $s = 1{,}5$ м, його тінь укоротилася на $\Delta l = 1$ м. Визначте висоту H ліхтаря над землею.

А	Б	В	Г
3,5 м	4 м	4,5 м	5 м

Розв'язання. Коли учень стоїть на відстані x від стовпа, довжину l тіні можна визначити, скориставшись подібністю трикутників (див. рисунок). Із пропорції $\frac{l}{h} = \frac{l+x}{H}$ отримаємо $l = x\frac{h}{H-h}$ і, відповідно, $\Delta l = \Delta x\frac{h}{H-h}$; $s = \Delta x$, звідси випливає, що $H = h\frac{s+\Delta l}{\Delta l} = 4$ м. Правильна відповідь Б.



2. Світна точка A розташована між двома вертикальними плоскими дзеркалами (рис. 1), кут між якими дорівнює 60°. Визначте кількість зображень, утворених дзеркалами.

А	Б	В	Г
3	4	5	6

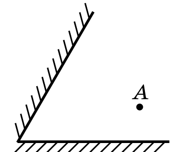


Рис. 1

Розв'язання. Зазвичай кожне плоске дзеркало дає одне зображення світної точки, тому в даному випадку може здатися, що зображень два. Проте промені, відбиті від одного дзеркала, можуть зазнати й відбивання від другого. Можна сказати, що відбиватися в дзеркалі може не тільки сама точка, а ще й її «попередні» зображення. Оскільки точка та її зображення симетричні відносно площини дзеркала, усі зображення розташовані на однаковій відстані від лінії перетину площин дзеркал, тобто на колі (рис. 2). Для зручності на рис. 2 показано не тільки самі дзеркала Д1 і Д2 та їх продовження, а й додаткову пряму (тобто площину рисунка розділено на 6 секторів по $60°$). Побудуємо зображення послідовно: спочатку точку 1 — відбиття точки A у дзеркалі Д1, потім точку 2 — відбиття точки 1 у дзеркалі Д2; відбиття точки 2 у дзеркалі Д1 дає зображення 3. А от ця точка вже не може відбиватися в дзеркалах, тому що розташована «позаду» обох дзеркал. Але це не все: є ще точка 4 — відбиття точки A у дзеркалі Д2; точка 5 — відбиття точки 4 у дзеркалі Д1. Відбиття ж точки 5 у дзеркалі Д2 збігається з точкою 3. Отже, маємо світну точку та *п'ять* її зображень (по одному зображенню на кожний «вільний» сектор). Правильна відповідь В.

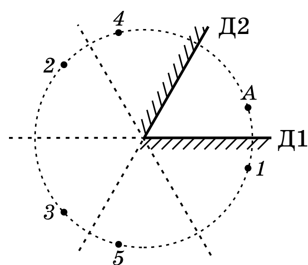


Рис. 2

3. За схематичним зображенням заломлення світла (рис. 1) визначте показник заломлення n_{2-1} середовища 2 відносно середовища 1.

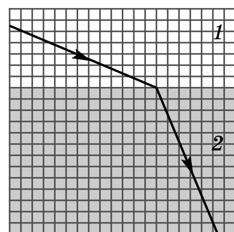


Рис. 1

А	Б	В	Г
1,3	1,5	1,8	2,4

Розв'язання. Відносний показник заломлення $n_{2-1} = \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}$ (кут падіння α і кут заломлення γ зазначені на рис. 2). Якщо вибрати на промені точки A і B, віддалені від точки заломлення на однакову відстань l, то $\sin\alpha = \frac{a}{l}$ і $\sin\gamma = \frac{b}{l}$. Отже, $n_{2-1} = \frac{a}{b}$. У даному випадку зручно вибрати точки так, щоб $a = 12s$, $b = 5s$ (тут s — довжина бічної сторони квадрата сітки). Звідси $n_{2-1} = 2{,}4$. Правильна відповідь Г.

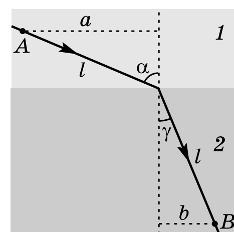
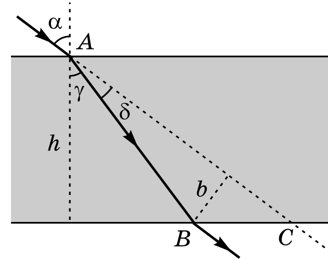


Рис. 2

4. Промінь падає на плоскопаралельну пластинку товщиною $h = 2$ см. Відомо, що $\sin\alpha = 0{,}8$; $\sin\gamma = 0{,}6$ (тут α і γ — відповідно кути падіння та заломлення при вході променя в пластинку). Визначте зміщення b променя після проходження через пластинку.

А	Б	В	Г
4 мм	5 мм	6 мм	7 мм



Розв'язання. На рисунку подано хід променя. Перш за все зазначимо, що зміщення променя вимірюється вздовж перпендикуляра до його початкового напрямку (тобто $b \neq BC$). Зазначимо, що $\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = 0{,}6$ і $\cos\gamma = \sqrt{1-\sin^2\gamma} = 0{,}8$. Кут повороту променя в пластинці $\delta = \alpha - \gamma$, а $\sin\delta = \sin\alpha\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma = 0{,}28$. Розглянувши прямокутні трикутники з гіпотенузою AB, отримаємо $b = AB\sin\delta = h\dfrac{\sin\delta}{\cos\gamma} = 0{,}7$ см. Правильна відповідь Г.

5. Промінь падає на бічну грань скляної призми, заломлюючий кут якої $\varphi = 60°$ (рис. 1). Кут падіння $\alpha = 49°$ (вважайте, що $\sin\alpha = 0{,}75$); показник заломлення скла $n = 1{,}5$. Визначте кут δ відхилення променя від початкового напрямку після проходження крізь призму.

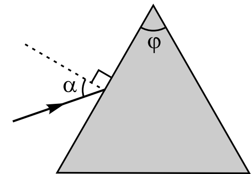


Рис. 1

А	Б	В	Г
22°	30°	38°	44°

Розв'язання. Згідно із законом заломлення світла $\sin\beta = \dfrac{\sin\alpha}{n} = 0{,}5$. Отже, кут заломлення $\beta = 30°$, тобто промінь «повернувся» на кут $\alpha - \beta = 19°$ за ходом годинникової стрілки (можна показати, що всередині призми промінь «іде» паралельно основі) (рис. 2). Заломлення при виході з призми спричинить ще один «поворот» променя за ходом годинникової стрілки; кут відхилення при цьому знову дорівнює $19°$. Отже, повний кут відхилення $\delta = 38°$. Правильна відповідь В.

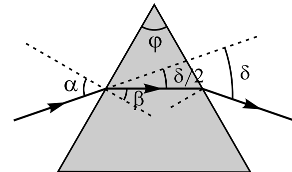


Рис. 2

6. За допомогою лінзи отримали зображення A_1B_1 предмета AB (рис. 1). Визначте (*в діоптріях*) оптичну силу лінзи, якщо довжина бічної сторони кожного квадрата сітки дорівнює 5 см. Відповідь округліть до 0,1 дптр.

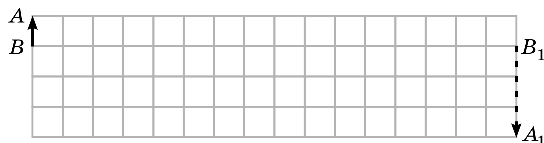


Рис. 1

Розв'язання. Відповідь можна отримати із системи рівнянь (формул тонкої лінзи та збільшення лінзи). Проте краще здійснити відповідну геометричну побудову (рис. 2). Очевидно, що зображення дійсне, лінза збиральна, а її площина вертикальна; центр O лінзи — точка перетину прямих AA_1 і BB_1. Горизонтальний промінь із точки A після заломлення проходить через точку A_1, цей промінь перетинає головну оптичну вісь BB_1 у фокусі F. Фокусна відстань $OF = 0{,}15$ м, а оптична сила лінзи $D = \frac{1}{OF} \approx 6{,}7$ дптр.

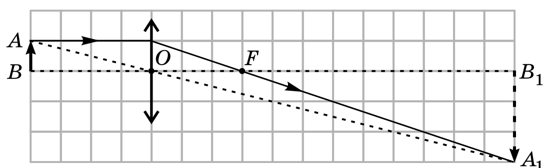


Рис. 2

Відповідь: 6,7.

7. Визначте оптичний пристрій, за допомогою якого можна отримати збільшене уявне зображення предмета.

А	Б	В	Г
Розсіювальна лінза	Плоске дзеркало	Дифракційна ґратка	Збиральна лінза

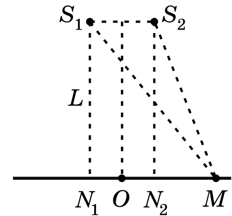
Розв'язання. Розсіювальна лінза дає уявні зображення, проте вони завжди *зменшені*. Розмір уявного зображення в плоскому дзеркалі збігається з розміром предмета. Дифракційна ґратка взагалі не дає зображення предмета. А от збиральна лінза дає збільшене уявне зображення, якщо предмет поставити між лінзою та її фокусом. Правильна відповідь Г.

8. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа $F_{об} = 4$ мм, а фокусна відстань окуляра $F_{ок} = 20$ мм. Відстань між об'єктивом і окуляром $l = 184$ мм. Визначте збільшення мікроскопа. Відстань найкращого зору $d_0 = 25$ см.

А	Б	В	Г
200	400	500	600

Розв'язання. Об'єктив мікроскопа дає дійсне зображення предмета у фокальній площині окуляра (окуляр працює як лупа). Отже, відстань від цього (проміжного) зображення до об'єктива $f_{об} = l - F_{ок} = 164$ мм. Із формули тонкої лінзи $\frac{1}{d_{об}} + \frac{1}{f_{об}} = \frac{1}{F_{об}}$ визначимо відстань між предметом і об'єктивом: $d_{об} = \frac{F_{об} f_{об}}{f_{об} - F_{об}}$. Звідси збільшення об'єктива $\Gamma_{об} = \frac{f_{об}}{d_{об}} = \frac{f_{об} - F_{об}}{F_{об}}$. Збільшення окуляра $\Gamma_{ок} = \frac{d_0}{F_{ок}}$, а збільшення мікроскопа $\Gamma = \Gamma_{об}\Gamma_{ок} = \frac{d_0\left(l - F_{ок} - F_{об}\right)}{F_{об}F_{ок}} = 500$. Правильна відповідь В.

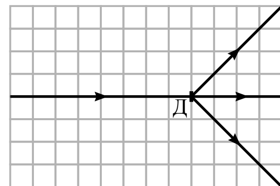
9. Два когерентні точкові джерела світла S_1 і S_2 з довжиною хвилі $\lambda = 540$ нм містяться на відстані $S_1S_2 = 2$ мм одне від одного та на відстані $L = 2$ м від екрана. Визначте (*у міліметрах*) відстань x між найближчими максимумами освітленості на екрані.



Розв'язання. Будемо для простоти вважати, що хвилі випромінюються з однаковими фазами. Тоді в рівновіддаленій від джерел точці O буде максимум освітленості, а в точці M наступного максимуму (див. рисунок) різниця ходу хвиль дорівнюватиме λ. Оскільки $MN_1 = x + s$ і $MN_2 = x - s$, де $s = \frac{S_1S_2}{2}$ і $x = OM$, отримуємо $\sqrt{L^2 + (x+s)^2} - \sqrt{L^2 + (x-s)^2} = \lambda$. Скориставшись тим, що x і s набагато менші від L, можна спростити останнє рівняння. Помноживши і розділивши його ліву частину на величину $\sqrt{L^2 + (x+s)^2} + \sqrt{L^2 + (x-s)^2}$, приблизно рівну $2L$, знаходимо $x = \frac{\lambda L}{2s} = \frac{\lambda L}{S_1S_2} = 5{,}4 \cdot 10^{-4}$ м.

Відповідь: 0,54.

10. Вузький пучок монохроматичного світла пропускають через дифракційну ґратку Д (див. рисунок), яка має $n = 1420$ штрихів на один міліметр. Визначте довжину хвилі світла (λ), вважаючи, що $\sin 45° = 0{,}71$.



А	Б	В	Г
400 нм	450 нм	500 нм	550 нм

Розв'язання. Судячи з рисунку, спостерігаються тільки максимум нульового порядку та два максимуми першого порядку $(k = 1)$. Максимумам першого порядку відповідає кут відхилення $\varphi = 45°$. Із формули дифракційної ґратки $d \sin \varphi = k\lambda$ та співвідношення для періоду ґратки $d = \frac{l}{n}$ (тут $l = 10^{-3}$ м) отримуємо $\lambda = \frac{l \sin \varphi}{kn} = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Правильна відповідь В.

11. На дифракційну ґратку з періодом $d = 4$ мкм падає нормально світло, пропущене через світлофільтр. Цей світлофільтр пропускає світло в діапазоні довжин хвиль від $\lambda_1 = 480$ нм до $\lambda_2 = 530$ нм. Визначте, чи будуть спектри різних порядків перекриватися один з одним, і якщо будуть, то як саме.

А	Б	В	Г
Будуть, починаючи зі спектрів 3-го та 4-го порядків	Будуть, починаючи зі спектрів 4-го та 5-го порядків	Будуть, починаючи зі спектрів 6-го та 7-го порядків	Перекривання спектрів не спостерігатиметься

Розв'язання. Найбільший кут $\varphi_{k\,\max}$ відхилення світла в спектрі порядку k можна визначити з умови $d \sin \varphi_{k\,\max} = k\lambda_2$, а найменший кут $\varphi_{k+1\,\min}$ відхилення світла у спектрі порядку $k+1$ — з умови $d \sin \varphi_{k+1\,\min} = (k+1)\lambda_1$. Спектри перекриваються за умови $\varphi_{k\,\max} > \varphi_{k+1\,\min}$, тобто $k\lambda_2 > (k+1)\lambda_1$. Отже, перекривання спектрів можливе, якщо $k > \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \approx 9{,}6$ (тобто перші спектри, які можуть перекриватися, — це 10-й і 11-й). Проте можливий порядок спектра обмежений умовою $k \quad \frac{d}{\lambda}$. Отже, $k \quad 8$. Таким чином, перекривання спектрів не спостерігається. Правильна відповідь Г.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

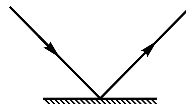
1. Точкове джерело світла розташовано над непрозорим горизонтальним диском, який має радіус 6 см. Визначте радіус тіні на підлозі, якщо диск розташований на висоті 90 см над підлогою, а джерело світла — на висоті 1,2 м над підлогою.

А	Б	В	Г
18 см	20 см	24 см	30 см

2. Дівчинка, яка має зріст 1,6 м, стоїть неподалік від вуличного ліхтаря та відкидає тінь завдовжки 1,2 м. Якщо дівчинка відійде від ліхтаря на 1,2 м далі, то довжина її тіні зросте до 1,8 м. Визначте, на якій висоті розташований ліхтар.

А	Б	В	Г
3,6 м	4,2 м	4,8 м	5,4 м

3. Вузький пучок світла падає на горизонтальне плоске дзеркало (див. рисунок); кут падіння дорівнює 45°. Визначте, куди та на скільки градусів треба повернути дзеркало, щоб відбите світло йшло вертикально вгору.



А	Б	В	Г
За ходом годинникової стрілки на 22,5°	За ходом годинникової стрілки на 45°	Проти ходу годинникової стрілки на 22,5°	Проти ходу годинникової стрілки на 45°

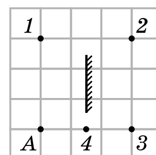
4. Сонячні промені падають під кутом 40° до горизонту. Визначте, під яким кутом до горизонту треба розташувати плоске дзеркало, щоб сонячний зайчик освітив дно глибокого вузького вертикального колодязя.

А	Б	В	Г
20°	25°	50°	65°

5. Кут між падаючим променем і площиною дзеркала втричі менший від кута між падаючим і відбитим променями. Визначте кут падіння променя на дзеркало.

А	Б	В	Г
22,5°	30°	54°	60°

6. Визначте, яка точка є зображенням точки *A* у плоскому дзеркалі (див. рисунок).



А	Б	В	Г
Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4

7. Хлопчик, який має зріст 150 см, стоїть перед вертикальним дзеркалом. Визначте мінімальну висоту дзеркала, за якої хлопчик може побачити в дзеркалі своє зображення в повний зріст.

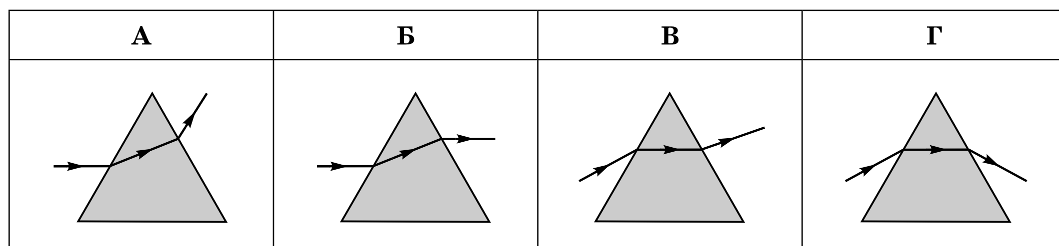
А	Б	В	Г
0,75 м	1 м	1,5 м	1,75 м

8. Світна точка розташована між двома вертикальними плоскими дзеркалами, кут між якими дорівнює 45°. Визначте кількість зображень, утворених дзеркалами.

А	Б	В	Г
5	6	7	8

9. Визначте рисунок, на якому схематично показано можливий хід вузького пучка світла, що падає з повітря на поверхню скляної призми.

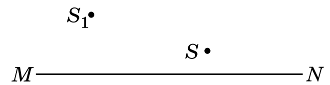
А	Б	В	Г



10. Визначте явище, яке НЕ пов'язане з повним відбиванням світла.

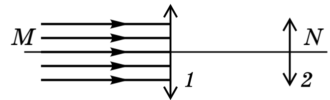
А	Б	В	Г
Дія перископа підводного човна	Дія об'єктива фотоапарата	Гра світла в діамантах	Дія оптоволоконної лінії зв'язку

11. На рисунку подано головну оптичну вісь MN тонкої лінзи, світну точку S та її зображення S_1. Визначте тип лінзи та співвідношення між d (відстанню від світної точки до площини лінзи) і фокусною відстанню F лінзи.



А	Б	В	Г
Лінза збиральна; $d > 2F$	Лінза збиральна; $F < d < 2F$	Лінза збиральна; $d < F$	Лінза розсіювальна; $d > \|F\|$

12. Збиральні лінзи з фокусними відстанями $F_1 = 16$ см і $F_2 = 8$ см мають спільну головну оптичну вісь MN (див. рисунок). Відстань між лінзами дорівнює 24 см. На лінзи падає паралельний пучок світла радіусом 2 см, вісь якого збігається з MN. Визначте, яким стане пучок світла після проходження через лінзи.



А	Б	В	Г
Розбіжним	Паралельним радіусом 1 см	Паралельним радіусом 4 см	Збіжним

13. Предмет розташований на відстані 60 см від лінзи з оптичною силою 5 дптр. Визначте відстань між лінзою та зображенням предмета.

А	Б	В	Г
20 см	30 см	90 см	120 см

14. Предмет розташований на відстані 50 см від лінзи з оптичною силою 1 дптр. Визначте відстань між предметом і його зображенням.

А	Б	В	Г
0,5 м	1,0 м	1,5 м	2,0 м

15. Запалена свічка стоїть перед збиральною лінзою з фокусною відстанню 40 см. Лінза дає на екрані зображення полум'я свічки. Визначте висоту цього зображення, якщо висота полум'я дорівнює 1 см, а відстань між свічкою та лінзою становить 50 см.

А	Б	В	Г
2 см	3 см	4 см	5 см

16. Лінза з фокусною відстанню 12 см дає дійсне зображення предмета, зменшене в 3 рази. Визначте відстань між предметом і лінзою.

А	Б	В	Г
16 см	24 см	36 см	48 см

17. Учень читає, розташовуючи текст на відстані 12,5 см від очей. Визначте оптичну силу лінз потрібних йому окулярів. Відстань найкращого зору становить 25 см.

А	Б	В	Г
–4 дптр	–2 дптр	2 дптр	4 дптр

18. Визначте, за якої частоти електромагнітної хвилі людина сприймає її як видиме світло. Вважайте, що довжина хвилі видимого світла у вакуумі лежить у діапазоні від 400 до 800 нм. Швидкість світла у вакуумі дорівнює $3\cdot10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
5 МГц	5 ГГц	$5\cdot10^{14}$ Гц	$5\cdot10^{17}$ Гц

19. Показник заломлення алмазу дорівнює 2,4. Визначте, які характеристики (частота ν і довжина λ хвилі) відповідають світловій хвилі в алмазі. Швидкість світла у вакуумі дорівнює $3\cdot10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
$\nu=4\cdot10^{14}$ Гц; $\lambda=120$ нм	$\nu=5\cdot10^{14}$ Гц; $\lambda=250$ нм	$\nu=4\cdot10^{14}$ Гц; $\lambda=250$ нм	$\nu=5\cdot10^{14}$ Гц; $\lambda=300$ нм

20. Світлова хвиля переходить із вакууму в скло з показником заломлення 1,6. Визначте, як змінюються частота та довжина хвилі світла.

А	Б	В	Г
Частота хвилі не змінюється; довжина хвилі зменшується в 1,6 разу	Частота хвилі збільшується в 1,6 разу; довжина хвилі зменшується в 1,6 разу	Частота хвилі зменшується в 1,6 разу; довжина хвилі не змінюється	Частота хвилі не змінюється; довжина хвилі збільшується в 1,6 разу

21. Сонячне світло, яке пройшло через вузьку щілину та скляну призму, утворює на екрані спектр. Визначте ділянки спектра, між якими розташована жовта смуга.

А	Б	В	Г
Зелена та синя	Зелена та жовтогаряча	Червона та жовтогаряча	Зелена та фіолетова

22. У точку M приходять дві когерентні світлові хвилі. Визначте, за якої різниці фаз між ними в точці M спостерігатиметься інтерференційний мінімум.

А	Б	В	Г
$1{,}5\pi$	2π	3π	$3{,}5\pi$

23. Дві когерентні світлові хвилі в повітрі з частотою $5 \cdot 10^{14}$ Гц приходять до центру екрана. Визначте, за якої різниці ходу між ними в центрі екрана спостерігатиметься інтерференційний максимум. Вважайте, що швидкість світла в повітрі дорівнює $3 \cdot 10^{8}$ м/с.

А	Б	В	Г
150 нм	300 нм	450 нм	600 нм

24. Якщо освітити сонячним світлом компакт-диск, можна спостерігати райдужні смужки. Визначте причину цього явища.

А	Б	В	Г
Заломлення світла	Дифракція світла	Поляризація світла	Розсіювання світла

25. На дифракційну ґратку з періодом 8 мкм нормально падає монохроматичне світло з довжиною хвилі 520 нм. Визначте максимальний порядок дифракційного максимуму.

А	Б	В	Г
7	8	15	16

26. Визначте оптичний пристрій, за допомогою якого можна отримати зменшене уявне зображення предмета.

А	Б	В	Г
Розсіювальна лінза	Плоске дзеркало	Дифракційна ґратка	Збиральна лінза

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між природним явищем і його причиною.

1 Райдуга
2 Місячна доріжка на воді
3 Сонячне затемнення
4 Блакитний колір ясного неба

А Розсіювання світла
Б Відбивання світла
В Дисперсія світла
Г Дифракція світла
Д Прямолінійне поширення світла

28. Установіть відповідність між характеристиками зображення в лінзі та умовами, за яких може спостерігатися дане зображення (d — відстань між предметом і лінзою; F — фокусна відстань лінзи).

1 Зображення дійсне, зменшене
2 Зображення уявне, збільшене
3 Зображення дійсне, збільшене
4 Зображення уявне, зменшене

А Лінза розсіювальна, $d = 2|F|$
Б Лінза збиральна, $d = 2F$
В Лінза збиральна, $d = \frac{F}{2}$
Г Лінза збиральна, $d = \frac{3F}{2}$
Д Лінза збиральна, $d = \frac{5F}{2}$

29. Установіть відповідність між частотою електромагнітного випромінювання та назвою діапазону. Швидкість світла у вакуумі $3 \cdot 10^8$ м/с.

1 $5 \cdot 10^{13}$ Гц
2 $5 \cdot 10^{14}$ Гц
3 $5 \cdot 10^{15}$ Гц
4 $5 \cdot 10^{17}$ Гц

А Видиме світло
Б Інфрачервоне випромінювання
В Рентгенівське випромінювання
Г Радіохвилі
Д Ультрафіолетове випромінювання

30. Установіть відповідність між оптичною різницею ходу Δd двох когерентних світлових хвиль і довжиною λ хвилі, за яких спостерігається інтерференційний максимум.

1 $\Delta d = 900$ нм
2 $\Delta d = 1{,}5$ мкм
3 $\Delta d = 2{,}4$ мкм
4 $\Delta d = 2{,}8$ мкм

А $\lambda = 700$ нм
Б $\lambda = 600$ нм
В $\lambda = 500$ нм
Г $\lambda = 450$ нм
Д $\lambda = 550$ нм

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Промінь світла переходить із повітря у скло з показником заломлення 1,6. Визначте косинус кута заломлення, якщо цей кут удвічі менший від кута падіння світла.

32. Кут падіння світла на плоскопаралельну пластинку дорівнює 60°. Промінь, що пройшов крізь пластинку, змістився на 2 мм. Визначте (*у міліметрах*) товщину пластинки, якщо її показник заломлення дорівнює 1,7. Вважайте, що $\sin 60° = \cos 30° = 0{,}85$.

33. Предмет розташований на відстані 50 см від лінзи з оптичною силою −2 дптр. Визначте (*у сантиметрах*) відстань між лінзою та зображенням предмета.

34. Репортер біля велотраси фотографує велосипедиста, який саме проїжджає повз нього на відстані 6 м зі швидкістю руху 36 км/год. Щоб створити в глядача почуття швидкого руху, треба отримати зображення, «розмите» на 1 мм. Визначте (*у мілісекундах*), скільки часу має бути відкритим об'єктив фотоапарата, якщо його фокусна відстань дорівнює 4 см.

35. Фокусна відстань об'єктива мікроскопа дорівнює 5 мм, а фокусна відстань окуляра — 25 мм. Визначте, яке збільшення дає мікроскоп, якщо відстань між предметом і об'єктивом становить 5,2 мм. Відстань найкращого зору дорівнює 25 см.

36. На дифракційну ґратку з періодом 4 мкм нормально падає пропущене через світлофільтр світло. Світлофільтр пропускає світло з довжиною хвилі від 450 до 500 нм. Визначте (*у міліметрах*) ширину максимуму першого порядку на екрані, якщо відстань між екраном і дифракційною ґраткою дорівнює 4 м.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 | |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: | 2 | | | , 5 | | |

чи такий: | | | 2 , | | 5 |

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31		,	
32		,	
33		,	
34		,	
35		,	
36		,	

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31		,	
32		,	
33		,	
34		,	
35		,	
36		,	

Розділ 15. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ. СВІТЛОВІ КВАНТИ

Що треба згадати

- **Релятивістський закон додавання швидкостей:** $v = \dfrac{v_1 + v_2}{1 + \dfrac{v_1 v_2}{c^2}}$, де c — швидкість світла у вакуумі; швидкості $\vec{v}_1$ і $\vec{v}_2$ напрямлені в один бік.

- **Релятивістське скорочення довжини в напрямку руху:** $l = l_0 \sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$, де l_0 — довжина тіла у власній системі відліку; l — довжина тіла в системі відліку, відносно якої воно рухається зі швидкістю v.

- **Релятивістська зміна ходу часу:** $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$, де t_0 — тривалість події у власній системі відліку; t — тривалість тієї самої події в «нерухомій» системі відліку.

- **Енергія спокою тіла:** $W_0 = mc^2$, де m — маса тіла.

- **Енергія тіла, яке рухається зі швидкістю** v: $W = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$.

- **Кінетична енергія тіла, яке рухається зі швидкістю** v: $W_к = \dfrac{mc^2}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} - mc^2$ (за малої швидкості руху $W_к = \dfrac{mv^2}{2}$).

- **Імпульс тіла, яке рухається:** $p = \dfrac{mv}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$.

- **Енергія фотона:** $W = h\nu$, де h — стала Планка; ν — частота електромагнітного випромінювання.

▶ **Імпульс фотона:** $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{W}{c}$, де λ — довжина хвилі випромінювання; W — енергія фотона.

▶ **Рівняння Ейнштейна для фотоефекту:** $h\nu = A + W_к$, де $A = h\nu_{min}$ — робота виходу; $\nu_{min} = \frac{c}{\lambda_{max}}$ — червона межа фотоефекту; $W_к = \frac{mv^2}{2} = eU_{затрим}$ — максимальна кінетична енергія фотоелектронів; $U_{затрим}$ — затримуюча напруга.

Учимося розв'язувати тестові завдання

Перший рівень

1. Зоря рухається від Землі зі швидкістю $\frac{c}{3}$ (тут c — швидкість світла у вакуумі). Визначте швидкість світла від цієї зорі, яку виміряє спостерігач на Землі.

А	Б	В	Г
$\frac{c}{3}$	$\frac{2c}{3}$	c	$\frac{4c}{3}$



Тут нічого не треба обчислювати (хоча й обчислення дадуть правильний результат)! За другим постулатом спеціальної теорії відносності (другим постулатом Ейнштейна) швидкість світла у вакуумі не залежить від руху джерела або приймача світла. Отже, правильна відповідь В.

2. Із крупинки радіоактивної речовини одночасно вилетіли у протилежних напрямках дві частинки. Модуль швидкості руху кожної частинки дорівнює 0,9c, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість світла у вакуумі. Частинки рухаються прямолінійно рівномірно. Визначте відстань l між частинками в системі відліку, пов'язаній із Землею, через $t = 1$ нс після вильоту.

А	Б	В	Г
0,15 м	0,30 м	0,45 м	0,54 м

Розв'язання. Це завдання — «пастка» для тих, хто знає релятивістську формулу додавання швидкостей, проте не дуже уважно читає умову. Оскільки нас

цікавить відстань у системі відліку, пов'язаній із Землею, ніякі релятивістські формули не потрібні: кожна частинка пройде відстань $0{,}9ct$, а відстань між частинками $l = 1{,}8ct = 0{,}54$ м. Правильна відповідь Г.

3. Обчисліть енергію спокою пляшки мінеральної води масою $m = 2$ кг. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
$1{,}8 \cdot 10^{17}$ Дж	$9 \cdot 10^{16}$ Дж	$1{,}2 \cdot 10^9$ Дж	$6 \cdot 10^8$ Дж

Розв'язання. Треба застосувати співвідношення Ейнштейна, яке пов'язує масу та енергію: $W = mc^2$. Правильна відповідь А.

4. Газ отримав унаслідок конвекції кількість теплоти Q, утратив унаслідок теплопровідності кількість теплоти $0{,}2Q$ і виконав при розширенні роботу $0{,}5Q$. Визначте, як і на скільки змінилася маса газу. Швидкість світла у вакуумі дорівнює c.

А	Б	В	Г
Збільшилася на $\frac{1{,}7Q}{c^2}$	Збільшилася на $\frac{1{,}3Q}{c^2}$	Збільшилася на $\frac{0{,}3Q}{c^2}$	Зменшилася на $\frac{0{,}7Q}{c^2}$

Розв'язання. Унаслідок зазначених в умові процесів змінилася внутрішня енергія U газу: $\Delta U = Q - 0{,}2Q - 0{,}5Q = 0{,}3Q$. Такою самою буде й зміна повної енергії газу. Зі співвідношення Ейнштейна, яке пов'язує масу та енергію, випливає, що зміна маси $\Delta m = \frac{0{,}3Q}{c^2} > 0$. Правильна відповідь В. (Зазначимо, що це завдання є виключно теоретичним, бо зміна маси газу в такій ситуації нехтовно мала.)

5. Визначте (*у тисячах кіловат-годин*) енергію спокою порошинки масою 4 мг. Швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Розв'язання. Скористаємося співвідношенням Ейнштейна, яке пов'язує масу та енергію: $W = mc^2 = 3{,}6 \cdot 10^{11}$ Дж (ми врахували, що $m = 4 \cdot 10^{-6}$ кг). Оскільки $1\,\text{кВт} \cdot \text{год} = 10^3\,\text{Вт} \cdot 3600\,\text{с} = 3{,}6 \cdot 10^6$ Дж, отримуємо $W = 10^5$ кВт · год. До речі, приблизно стільки електроенергії людина витрачає протягом усього життя...

Відповідь: 100.

6. Визначте кінетичну енергію частинки масою m, яка рухається зі швидкістю $0{,}6c$ (тут c — швидкість світла у вакуумі).

А	Б	В	Г
$0{,}18mc^2$	$0{,}225mc^2$	$0{,}25mc^2$	$0{,}36mc^2$

Розв'язання. Нерухоме тіло має так звану енергію спокою mc^2. А якщо тіло починає рухатися, воно набуває додаткової енергії. Саме цю *додаткову* енергію називають кінетичною. Повна енергія тіла, яке рухається зі швидкістю v, дорівнює $\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$. Отже, кінетична енергія $W_к$ дорівнює різниці між повною енергією та енергією спокою: $W_к = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$. Підставивши значення $v = 0{,}6c$, отримаємо $W_к = 0{,}25mc^2$. Поширеною *помилкою* є застосування формули $W_к = \frac{mv^2}{2\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ (див. відповідь Б). Правильна відповідь В.

7. Швидкість руху частинки збільшилася від $v_1 = 0{,}6c$ до $v_2 = 0{,}8c$ (тут c — швидкість світла у вакуумі). Визначте, у скільки разів збільшився імпульс частинки.

А	Б	В	Г
У $\frac{4}{3}$ разу	У $\frac{16}{9}$ разу	У $\frac{7}{3}$ разу	У $\frac{26}{9}$ разу

Розв'язання. Якщо б зазначені швидкості були нерелятивістськими (набагато меншими від c), то імпульс $\vec{p} = m\vec{v}$ був би прямо пропорційним швидкості руху й відповідь була би $\frac{4}{3}$. Але для релятивістських частинок $\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$. Тому

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_2\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}}{v_1\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}}} = \frac{16}{9}.$$ Правильна відповідь Б.

8. Установіть відповідність «фізичне явище — причина виникнення явища».

1 Нагрівання даху в сонячний день
2 Випромінювання світла
3 Розсіювання світла
4 Утворення тіні

А Прямолінійне поширення світла
Б Поглинання фотонів
В Зіткнення фотонів
Г Народження фотонів
Д Зміна напрямку імпульсу фотонів

Розв'язання. Нагрівання даху зумовлене поглинанням енергії сонячного випромінювання (тобто поглинанням фотонів). Випромінювання світла — це процес народження фотонів. Розсіювання світла означає, що потік фотонів «розпадається»: імпульси різних фотонів після розсіювання мають різні напрямки. Утворення ж тіні пояснюється прямолінійним поширенням світла (в однорідному середовищі). Правильна відповідь: 1–Б; 2–Г; 3–Д; 4–А.

9. У якому явищі виявляються хвильові властивості світла?

А	Б	В	Г
Прямолінійне поширення світла	Світіння вночі гнилої деревини	Виривання світлом електронів із металу	Забарвлення крил метелика



Поміркуємо: прямолінійне поширення світла корпускулярна теорія пояснює навіть легше, ніж хвильова, адже частинки (корпускули) за інерцією мають рухатися прямолінійно. Світіння гнилої деревини (як і будь-яке «холодне» світіння) — це приклад люмінесценції, а виривання світлом електронів із металу — це фотоефект. Хвильова теорія світла не в змозі пояснити ці явища. А от забарвлення крил метелика пояснюється інтерференцією світла (тобто тим, що накладання кількох світлових хвиль за певних умов може спричинити не посилення, а послаблення світла). Це явище є переконливим свідченням хвильової природи світла. Правильна відповідь Г.

10. У якому явищі виявляються корпускулярні властивості світла?

А	Б	В	Г
Отримання дифракційного спектра	Інтерференція двох пучків світла	Отримання дисперсійного спектра	Фотоелектричний ефект

Розв'язання. Дифракція, інтерференція та дисперсія — це добре відомі хвильові властивості світла. І тільки закони фотоефекту не знайшли пояснення в рамках хвильової теорії світла. Правильна відповідь Г.

11. Визначте, в якому переліку види електромагнітного випромінювання розташовані в порядку зростання енергій їх квантів.

А	Б	В	Г
Синє світло, рентгенівське випромінювання, зелене світло	Ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське випромінювання, червоне світло	Жовте світло, синє світло, рентгенівське випромінювання	Зелене світло, рентгенівське випромінювання, фіолетове світло

Розв'язання. Оскільки енергія кванта дорівнює $h\nu$, де h — стала Планка, а ν — частота випромінювання, ми маємо розташувати випромінювання в порядку збільшення частоти (або, що те саме, у порядку зменшення довжини хвилі). Згадаємо, що в спектрі видимого світла на першому місці тоді має бути червоне світло, а на останньому — фіолетове. Далі має бути ультрафіолетове випромінювання, а за ним рентгенівське. Правильна відповідь В.

12. На поверхню тіла діє світлове випромінювання з частотою $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц. Визначте, яку енергію може поглинути тіло. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

А	Б	В	Г
$6{,}6 \cdot 10^{-20}$ Дж	$1{,}32 \cdot 10^{-19}$ Дж	$6{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$9{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж

Розв'язання. Енергія випромінюється та поглинається «порціями» (квантами). Енергія кожного кванта $h\nu = 3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Отже, поглинута енергія має бути кратною до цього значення. Правильна відповідь В.

13. Лазер за $t = 40$ с випромінює $N = 8 \cdot 10^{17}$ фотонів. Довжина хвилі випромінювання лазера $\lambda = 600$ нм. Визначте потужність P випромінювання лазера. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с.

А	Б	В	Г
3,3 мВт	4,4 мВт	6,6 мВт	9,9 мВт

Розв'язання. Енергія кожного фотона $W_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. Енергія випромінювання лазера становить NW_0, а потужність лазера $P = \frac{NW_0}{t} = \frac{Nhc}{\lambda t} = 6{,}6 \cdot 10^{-3}$ Вт. Правильна відповідь В.

14. Довжина хвилі електромагнітного випромінювання у вакуумі $\lambda = 120$ нм. Визначте, яку (приблизно) прискорюючу різницю потенціалів U має пройти електрон, щоб його кінетична енергія дорівнювала енергії кванта цього випромінювання. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
4 В	10 В	25 В	40 В

Розв'язання. Кінетична енергія, якої набуває електрон під час прискорення, дорівнює роботі електричного поля eU; енергія кванта $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. Звідси знаходимо $U = \frac{hc}{e\lambda} = 10$ В. Правильна відповідь Б.

15. Максимальна кінетична енергія електронів, вирваних випромінюванням з поверхні металу, ...

А	Б	В	Г
...не залежить від довжини хвилі випромінювання	...не залежить від частоти випромінювання	...прямо пропорційна інтенсивності випромінювання	...не залежить від інтенсивності випромінювання



Можна вважати, що кожний вирваний електрон (фотоелектрон) поглинув тільки один фотон, тобто отримав енергію $h\nu$. Отже, максимальна кінетична енергія фотоелектронів *залежить* від частоти ν випромінювання (або, що те саме, від довжини хвилі випромінювання). А от про загальну кількість фотонів, які падають на метал, електрон просто «не знає», бо йому «дістався» тільки один фотон. Отже, максимальна кінетична енергія фотоелектронів не залежить від інтенсивності випромінювання. Правильна відповідь Г.

16. Червона межа фотоефекту відповідає довжині хвилі $\lambda_0 = 450$ нм. Визначте довжину хвилі падаючого випромінювання, за якої можливий фотоефект.

А	Б	В	Г
350 нм	460 нм	570 нм	680 нм

Розв'язання. Червона межа фотоефекту відповідає випадку, коли енергія фотона $h\nu$ дорівнює роботі виходу електрона з металу A. Оскільки $\nu = \frac{c}{\lambda}$, енергія

фотона дорівнює $\frac{hc}{\lambda}$. Фотоефект можливий, якщо енергія фотона *більша* за роботу виходу, тобто якщо довжина хвилі *менша* від λ_0. Правильна відповідь А.

17. При освітленні катода фотоелемента синім світлом у колі виникає струм, а при освітленні жовтим світлом струм не виникає. Закінчіть твердження: при опроміненні катода...

А	Б	В	Г
...червоним світлом виникає фотоефект	...фіолетовим світлом фотоефект не виникає	...інфрачервоним випромінюванням виникає фотоефект	...жовтогарячим світлом фотоефект не виникає

Розв'язання. Як випливає з умови, червона межа фотоефекту розташована в спектрі між синім і жовтим світлом. Усі види випромінювання, довжина хвилі яких більша за довжину хвилі жовтого світла (у тому числі червоне та жовтогаряче світло, інфрачервоне випромінювання), *не можуть* викликати фотоефект. Усі ж види випромінювання, довжина хвилі яких менша від довжини хвилі синього світла (наприклад, фіолетове світло), *можуть* викликати фотоефект. Правильна відповідь Г.

18. Визначте співвідношення між енергією кожного фотона $h\nu$, роботою A виходу електрона з металу та значенням затримуючої напруги U, якщо e — елементарний електричний заряд.

А	Б	В	Г
$h\nu = A - eU$	$h\nu = A + eU$	$h\nu = eU - A$	$h\nu = eA + U$



Співвідношення Г можна відкинути відразу, бо там не все гаразд з одиницями величин... А далі слід просто застосувати закон збереження енергії: якщо електрон *отримує* від фотона енергію $h\nu$ та *витрачає* для свого «звільнення» з металу енергію A, то в нього може залишитися кінетична енергія $W_к$ (це *максимальна* кінетична енергія фотоелектронів), яку визначимо зі співвідношення $h\nu = A + W_к$. Це співвідношення називають рівнянням Ейнштейна для фотоефекту. Долаючи «гальмуюче» електричне поле за затримуючої напруги U, електрон витрачає всю кінетичну енергію: $W_к = eU$. Отже, правильна відповідь Б.

19. На поверхню металу падають фотони з енергією 2,8 еВ. Визначте максимальну кінетичну енергію $W_к$ фотоелектронів, якщо робота виходу електронів з металу дорівнює 1,3 еВ.

А	Б	В	Г
1,5 еВ	2,8 еВ	4,1 еВ	5,4 еВ

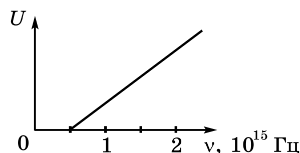
Розв'язання. Як випливає з рівняння Ейнштейна для фотоефекту, $W_к$ дорівнює різниці між енергією фотонів, які поглинаються, і роботою виходу електронів із металу: $W_к = 2{,}8 - 1{,}3 = 1{,}5$ (еВ). Правильна відповідь А.

20. Після збільшення частоти випромінювання, яке діє на поверхню металу, максимальна швидкість руху фотоелектронів зросла від $\upsilon_1 = 700$ км/с до $\upsilon_2 = 3700$ км/с. Визначте, на скільки збільшено частоту випромінювання. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
На $4{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц	На $9 \cdot 10^{14}$ Гц	На $9 \cdot 10^{15}$ Гц	На $1{,}8 \cdot 10^{16}$ Гц

Розв'язання. Запишемо двічі рівняння Ейнштейна для фотоефекту: $h\nu_1 = A + \frac{m\upsilon_1^2}{2}$; $h\nu_2 = A + \frac{m\upsilon_2^2}{2}$. Віднімемо перше рівняння від другого та визначимо різницю частот: $\nu_2 - \nu_1 = \frac{m\left(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2\right)}{2h} = 9 \cdot 10^{15}$ Гц. Правильна відповідь В.

21. На рисунку наведено графік залежності затримуючої напруги U від частоти ν електромагнітного випромінювання, яке діє на катод вакуумного фотоелемента. Визначте роботу A виходу електронів з катода. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.



А	Б	В	Г
$2{,}2 \cdot 10^{-19}$ Дж	$3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж	$6{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$9{,}9 \cdot 10^{-19}$ Дж

Розв'язання. Із графіка бачимо, що $U = 0$ при $\nu_{min} = 0{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц. Саме за такої частоти енергія фотона дорівнює роботі виходу, а за меншої частоти фотоефект неможливий (інакше кажучи, ν_{min} відповідає червоній межі фотоефекту). Отже, $A = h\nu_{min} = 3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. Дві частинки рухаються в прискорювачі в протилежних напрямках, модулі швидкостей їх руху дорівнюють $0{,}8c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначте модуль швидкості руху другої частинки в системі відліку, пов’язаній з першою.

А	Б	В	Г
$0{,}88c$	$\frac{40c}{41}$	c	$1{,}6c$



Відповіді В і Г можна відкинути (відносна швидкість руху частинок напевно за модулем менша від c). А от як вибрати правильну відповідь? Згадав! Слід скористатися релятивістською формулою додавання швидкостей: $v = \dfrac{v_1 + v_2}{1 + \dfrac{v_1 v_2}{c^2}}$. У нашому випадку напрямки швидкостей протилежні, отже, $v_1 = -v_2$, тобто отримуємо $v = 0$... Як це може бути? Щось у цій формулі не так!

Коментар. У формулі, безумовно, все «так». А от користатися нею треба свідомо. Тут v_1 — швидкість «рухомої» системи відліку (СВ) відносно «нерухомої», а v_2 — швидкість руху частинки відносно «рухомої» СВ. Тоді формула дає значення v — швидкості руху частинки відносно «нерухомої» СВ. У нашому випадку зручно розглядати СВ, пов’язану з першою частинкою, як «нерухому», а СВ, пов’язану із Землею та прискорювачем,— як «рухому». Тоді швидкості v_1 і v_2 мають однакові знаки. Підставивши їх числові значення, дістанемо $v = \dfrac{40c}{41}$.

Правильна відповідь Б.

2. Із крупинки радіоактивної речовини одночасно в протилежних напрямках вилетіли дві частинки. Модуль швидкості руху кожної частинки дорівнює $0{,}9c$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість світла у вакуумі. Частинки рухаються прямолінійно рівномірно. Визначте відстань l між частинками в системі відліку, пов’язаній з однією з цих частинок, через $t = 1$ нс після вильоту.

А	Б	В	Г
0,15 м	0,30 м	0,45 м	0,54 м

Розв'язання. Шукана відстань $l = vt$, де v — швидкість руху однієї частинки відносно іншої. Щоб знайти v, скористаємося релятивістською формулою додавання швидкостей $v = \frac{0,9c + 0,9c}{1 + \frac{0,9c \cdot 0,9c}{c^2}} = \frac{180}{181}c$. Звідси $l \approx 0,30$ м. Правильна відповідь Б.

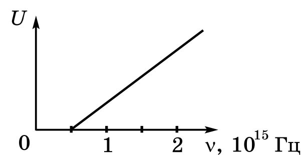
3. Дві віддалені зорі та Земля розташовані на одній прямій. Зорі віддаляються від Землі вздовж цієї прямої, рухаючись в один бік зі швидкостями руху $0,8c$ і $0,5c$, де c — швидкість світла у вакуумі. Визначте швидкість руху однієї зорі відносно іншої.

А	Б	В	Г
$0,3c$	$0,5c$	$0,93c$	$1,3c$

Розв'язання. Слід скористатися релятивістською формулою додавання швидкостей $v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$, урахувавши, що v_1 і v_2 мають різні знаки: $v = \frac{0,8c - 0,5c}{1 - \frac{0,8c \cdot 0,5c}{c^2}} = 0,5c$.

Правильна відповідь Б.

4. На рисунку наведено графік залежності затримуючої напруги U від частоти ν електромагнітного випромінювання, що діє на катод вакуумного фотоелемента. Визначте, яка затримуюча напруга відповідає частоті випромінювання $\nu = 2,1 \cdot 10^{15}$ Гц. Стала Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; елементарний електричний заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



А	Б	В	Г
2,2 В	3,3 В	4,4 В	6,6 В

Розв'язання. З графіка бачимо, що $\nu_{min} = 0,5 \cdot 10^{15}$ Гц відповідає червоній межі фотоефекту, тобто робота виходу $A = h\nu_{min}$. Із рівняння Ейнштейна для фотоефекту випливає співвідношення $eU = h\nu - A$. Отже, $U = \frac{h(\nu - \nu_{min})}{e} = 6,6$ В. Правильна відповідь Г.

5. Для металу червона межа фотоефекту відповідає довжині хвилі $\lambda_{max} = 440$ нм. Визначте максимальну швидкість руху фотоелектронів при опроміненні цього металу промінням із довжиною хвилі $\lambda = 220$ нм. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с; маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
$500\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$	$1000\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$	$1500\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$	$2000\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$

Розв’язання. Скористаємося рівнянням Ейнштейна для фотоефекту $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$ і візьмемо до уваги, що $\nu = \frac{c}{\lambda}$, $A = \frac{hc}{\lambda_{max}}$. Звідси максимальна швидкість руху фотоелектронів $v = \sqrt{\frac{2hc(\lambda_{max} - \lambda)}{m\lambda\lambda_{max}}} = 10^{6}$ м/с. Правильна відповідь Б.

6. Для катода червона межа фотоефекту відповідає частоті $\nu_{min} = 7 \cdot 10^{14}$ Гц. Визначте довжину хвилі випромінювання (λ), яке діє на цей катод, якщо затримуюча напруга $U = 3{,}3$ В. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
200 нм	250 нм	300 нм	350 нм

Розв’язання. Згідно з рівнянням Ейнштейна для фотоефекту $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$. Підставивши в це рівняння співвідношення $\nu = \frac{c}{\lambda}$, $A = h\nu_{min}$, $\frac{mv^2}{2} = eU$, отримаємо $\lambda = \frac{hc}{h\nu_{min} + eU} = 200$ нм. Правильна відповідь А.

7. Фотони з енергією 4,75 еВ падають на катод, робота виходу для якого дорівнює 3,5 еВ. Визначте максимальний імпульс p фотоелектронів. Маса електрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг; $1\ \text{еВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

А	Б	В	Г
$2 \cdot 10^{-25}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$4 \cdot 10^{-25}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$6 \cdot 10^{-25}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$8 \cdot 10^{-25}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

Розв'язання. Із рівняння Ейнштейна для фотоефекту випливає, що максимальна кінетична енергія фотоелектронів $W_к = 1{,}25\,еВ = 2\cdot10^{-19}$ Дж. Оскільки $W_к$ набагато менша від енергії спокою електрона, швидкості руху фотоелектронів нерелятивістські. Тому скористаємося формулами механіки Ньютона: $p = mv$, $W_к = \frac{mv^2}{2}$, де v — максимальна швидкість руху фотоелектронів. Дістаємо $p = \sqrt{2mW_к} = 6\cdot10^{-25}$ кг · м/с. Правильна відповідь В.

8. Електрони в рентгенівській трубці після прискорення напругою $U = 50$ кВ «бомбардують» металеву пластинку. Визначте (з точністю до 1 пм) найменшу довжину хвилі випромінювання, яке виникає в цій трубці. Стала Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі $c = 3\cdot10^{8}$ м/с; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
2,5 пм	8,4 пм	25 пм	84 пм

Розв'язання. Під час розгону електрон набуває кінетичної енергії eU, а при ударі значна частина цієї енергії переходить в енергію фотонів, що виникають. Найменша довжина хвилі λ_{min} (найбільша частота ν_{max}) випромінювання відповідає випадку, коли практично вся кінетична енергія електрона передається одному фотону: $eU = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}}$. Звідси $\lambda_{min} = \frac{hc}{eU} = 25$ пм. Правильна відповідь В.

9. Імпульс фотона $p = 6{,}6\cdot10^{-27}\ \frac{кг\cdot м}{с}$. Визначте відповідний тип електромагнітного випромінювання. Стала Планка $h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж · с.

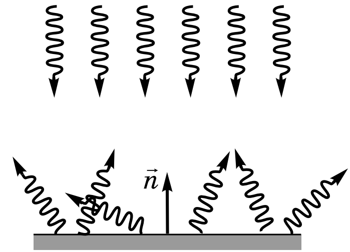
А	Б	В	Г
Видиме світло	Ультрафіолетове випромінювання	Рентгенівське випромінювання	Інфрачервоне випромінювання

Розв'язання. Імпульс фотона залежить від довжини хвилі випромінювання: $p = \frac{h}{\lambda}$. Звідси $\lambda = \frac{h}{p} = 10^{-7}$ м, або 100 нм. Це дещо менше, ніж довжина хвилі фіолетового світла (приблизно 400 нм). Отже, ідеться про ультрафіолетове випромінювання. Правильна відповідь Б.

10. Світло нормально падає по черзі на поверхні твердих тіл: 1 — на білу; 2 — чорну; 3 — дзеркальну. Розташуйте ці поверхні в порядку зростання тиску світла на них.

А	Б	В	Г
1, 2, 3	2, 1, 3	3, 2, 1	1, 3, 2

Розв'язання. Тиск світла на поверхню можна пояснити тим, що фотони передають поверхні імпульс. Позначимо $\vec{p}_0$ імпульс кожного фотона перед взаємодією з поверхнею. Тоді чорна поверхня отримує від кожного фотона імпульс $\vec{p}_0$ (фотон поглинається). У випадку нормального падіння на дзеркальну поверхню «відбитий» фотон має імпульс $-\vec{p}_0$, тому згідно із законом збереження імпульсу поверхня отримує від кожного падаючого на неї фотона імпульс $2\vec{p}_0$. У випадку ж білої поверхні імпульси «відбитих» фотонів напрямлені в різні боки, середня проекція p_n їх імпульсів на нормаль $\vec{n}$ до поверхні (див. рисунок) задовольняє нерівність $0 < p_n < p_0$. Отже, у середньому кожний фотон передає поверхні імпульс $p_0 + p_n$, більший за p_0 і менший від $2p_0$. Таким чином, тиск світла на дзеркальну поверхню найбільший, а на чорну — найменший (удвічі менший від тиску на дзеркальну поверхню). Правильна відповідь Б.



Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Ракета рухається зі швидкістю $\frac{c}{4}$ відносно Землі (c — швидкість світла у вакуумі). На ракеті вмикають прожектор, який світить у напрямку руху. Визначте швидкість випромінюваного прожектором світла відносно Землі.

А	Б	В	Г
$\frac{c}{4}$	$\frac{3c}{4}$	c	$\frac{5c}{4}$

2. Космічний корабель рухається зі швидкістю $\frac{c}{3}$ відносно Землі (c — швидкість світла у вакуумі). З корабля в напрямку його руху стартує «космічний катер» зі швидкістю $\frac{2c}{3}$ відносно корабля. Визначте швидкість руху «катера» відносно Землі.

А	Б	В	Г
$\frac{9c}{11}$	$\frac{11c}{13}$	$\frac{13c}{15}$	c

3. Визначте умову, яка має виконуватися для тіла *одночасно* в двох різних інерціальних системах відліку.

А	Б	В	Г
Швидкість руху тіла дорівнює нулю	Модуль швидкості руху тіла дорівнює $100\ \frac{\text{км}}{\text{с}}$	Модуль прискорення руху тіла дорівнює $10\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	Прискорення руху тіла дорівнює нулю

4. Визначте енергію спокою краплі води масою 0,2 г. Швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^8$ м/с.

А	Б	В	Г
1,7 млн кВт · год	5 млн кВт · год	17 млн кВт · год	50 млн кВт · год

5. Повна енергія частинки масою m у 3 рази перевищує її енергію спокою. Визначте кінетичну енергію частинки (c — швидкість світла у вакуумі).

А	Б	В	Г
$\frac{mc^2}{3}$	mc^2	$2mc^2$	$4mc^2$

6. Визначте кінетичну енергію частинки масою m, швидкість руху якої становить 80 % швидкості c світла у вакуумі.

А	Б	В	Г
$\frac{2mc^2}{3}$	$\frac{4mc^2}{5}$	$\frac{5mc^2}{4}$	$\frac{3mc^2}{2}$

7. Визначте імпульс частинки масою m, швидкість руху якої становить $\frac{12}{13}$ від швидкості c світла у вакуумі.

А	Б	В	Г
$0{,}38mc$	$0{,}42mc$	$0{,}92mc$	$2{,}4mc$

8. Визначте явище, в якому виявляються хвильові властивості світла.

А	Б	В	Г
Дифракція	Поглинання	Фотоефект	Випромінювання

9. Визначте пристрій, дія якого ґрунтується на корпускулярних властивостях світла.

А	Б	В	Г
Світлофільтр	Фотоелемент	Дифракційна ґратка	Мікроскоп

10. Визначте, у якому з перелічених діапазонів електромагнітних випромінювань енергія фотонів має найбільше значення.

А	Б	В	Г
Рентгенівське випромінювання	Видиме світло	Короткі радіохвилі	Ультрафіолетове випромінювання

11. Визначте перелік, в якому види електромагнітного випромінювання розташовані в порядку зменшення енергії їх фотонів.

А	Б	В	Г
Синє світло, зелене світло, рентгенівське випромінювання	Рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, червоне світло	Рентгенівське випромінювання, жовте світло, синє світло	Рентгенівське випромінювання, зелене світло, фіолетове світло

12. Визначте (приблизно) енергію одного кванта електромагнітного випромінювання з частотою $1{,}2 \cdot 10^{15}$ Гц. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с.

А	Б	В	Г
$5 \cdot 10^{-19}$ Дж	$6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$8 \cdot 10^{-19}$ Дж	$9 \cdot 10^{-19}$ Дж

13. Енергія кванта електромагнітного випромінювання дорівнює $3{,}3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Визначте довжину хвилі цього випромінювання. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі становить $3 \cdot 10^{8}$ м/с.

А	Б	В	Г
450 нм	500 нм	550 нм	600 нм

14. На катод фотоелемента діє випромінювання з частотою $3 \cdot 10^{14}$ Гц. Яку (приблизно) енергію може поглинути катод? Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

А	Б	В	Г
$0{,}5 \cdot 10^{-19}$ Дж	$1{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж	$1{,}5 \cdot 10^{-19}$ Дж	$2{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж

15. Кількість електронів, вибитих випромінюванням з поверхні металу за 1 с, …

А	Б	В	Г
…не залежить від інтенсивності випромінювання	…прямо пропорційна інтенсивності випромінювання	…залежить лише від площі поверхні	…прямо пропорційна частоті випромінювання

16. Визначте умову, за якої *може* припинитися фотоефект.

А	Б	В	Г
Збільшення частоти випромінювання	Зменшення частоти випромінювання	Збільшення інтенсивності випромінювання	Зменшення інтенсивності випромінювання

17. Лазер випромінює світло з довжиною хвилі 500 нм. Визначте (приблизно) енергію кожного фотона. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^{8}$ м/с.

А	Б	В	Г
$1\cdot10^{-19}$ Дж	$2\cdot10^{-19}$ Дж	$4\cdot10^{-19}$ Дж	$8\cdot10^{-19}$ Дж

18. Потужність випромінювання лазера дорівнює 3 мВт, а довжина хвилі лазерного проміння становить 660 нм. Визначте кількість фотонів, які випромінює лазер за 2 хвилини. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^{8}$ м/с.

А	Б	В	Г
$1{,}2\cdot10^{18}$	$2{,}4\cdot10^{18}$	$4{,}8\cdot10^{18}$	$9{,}6\cdot10^{18}$

19. Коли на катод фотоелемента падає зелене світло, в колі виникає струм, а при освітленні жовтим світлом струм не виникає. Визначте випромінювання, яке викликає струм у даному фотоелементі.

А	Б	В	Г
Червоне світло	Фіолетове світло	Жовтогаряче світло	Інфрачервоне проміння

20. Коли на поверхню металу нанесли оксидний шар, червона межа фотоефекту змінилася від 320 до 640 нм. Визначте, як і в скільки разів змінилася робота виходу електронів з поверхні металу.

А	Б	В	Г
Зменшилась у 4 рази	Зменшилась у 2 рази	Збільшилась у 2 рази	Збільшилась у 4 рази

21. Робота виходу електронів з металу дорівнює 2,3 еВ. Визначте енергію фотонів випромінювання, що падає на поверхню металу, якщо максимальна кінетична енергія фотоелектронів дорівнює 0,8 еВ.

А	Б	В	Г
0,8 еВ	1,5 еВ	2,3 еВ	3,1 еВ

22. Мінімальна частота світла, що вириває електрони з поверхні катода, дорівнює $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Визначте частоту діючого на катод випромінювання, якщо затримуюча напруга дорівнює 0,33 В. Стала Планка становить $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; елементарний електричний заряд дорівнює $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

А	Б	В	Г
$5{,}2 \cdot 10^{14}$ Гц	$5{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц	$5{,}8 \cdot 10^{14}$ Гц	$6{,}2 \cdot 10^{14}$ Гц

23. Мінімальна частота світла, яке вириває електрони з поверхні катода, дорівнює $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Визначте (приблизно) довжину хвилі випромінювання, за якої максимальна швидкість руху фотоелектронів дорівнює 200 км/с. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі — $3 \cdot 10^{8}$ м/с; маса електрона — $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
420 нм	480 нм	570 нм	620 нм

24. Визначте, на скільки (приблизно) слід збільшити частоту діючого на поверхню металу випромінювання, щоб максимальна швидкість руху фотоелектронів зросла від 1000 до 2000 км/с. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; маса електрона становить $9 \cdot 10^{-31}$ кг.

А	Б	В	Г
На $1{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц	На $2{,}0 \cdot 10^{15}$ Гц	На $2{,}5 \cdot 10^{15}$ Гц	На $3{,}0 \cdot 10^{15}$ Гц

25. Визначте, в якому переліку кольори видимого спектра розташовані в порядку збільшення імпульсів відповідних фотонів.

А	Б	В	Г
Синій, жовтий, червоний	Жовтий, синій, червоний	Червоний, жовтий, синій	Жовтий, червоний, синій

26. Визначте максимальний імпульс, який може передати ідеальному дзеркалу фотон видимого світла з довжиною хвилі 440 нм. Стала Планка дорівнює $6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

А	Б	В	Г
$1{,}5 \cdot 10^{-27}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$3 \cdot 10^{-27}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$4{,}4 \cdot 10^{-27}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$	$6 \cdot 10^{-27}\ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між фізичною величиною та математичним виразом.

1 Енергія релятивістської частинки
2 Імпульс релятивістської частинки
3 Енергія спокою частинки
4 Кінетична енергія релятивістської частинки

А mc^2
Б $mc^2 + \frac{mv^2}{2}$
В $\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$
Г $\frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$
Д $\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

28. Установіть відповідність між фізичним явищем і його тлумаченням з точки зору квантової теорії.

1 Тиск світла
2 Прямолінійне поширення світла
3 Фотоефект
4 Поглинання світла

А Збільшення кількості фотонів
Б Передача енергії від фотонів електронам
В Незмінний напрямок імпульсу фотонів
Г Передача імпульсу фотонами
Д Зменшення кількості фотонів

29. Установіть відповідність між реальним або фантастичним пристроєм і фізичним явищем.

1 Космічний парус
2 Напівпровідниковий фоторезистор
3 Світлодіод
4 Вакуумний фотоелемент

А Внутрішній фотоефект
Б Дисперсія світла
В Зовнішній фотоефект
Г Тиск світла
Д Випромінювання фотонів

30. Установіть відповідність між науковим досягненням і його автором.

1 Відкриття законів фотоефекту
2 Теорія фотоефекту
3 Гіпотеза про існування квантів
4 Вимірювання тиску світла

А П. М. Лебедєв
Б М. Планк
В А. Ейнштейн
Г О. Г. Столєтов
Д Н. Бор

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Визначте, на скільки градусів слід нагріти 10 кг води, щоб її маса збільшилася на 42 нг. Питома теплоємність води дорівнює $4200\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^8$ м/с.

32. Ділянка покрівлі поглинає щосекунди $7\cdot10^{15}$ фотонів видимого світла з довжиною хвилі 500 нм та випромінює ту саму кількість фотонів інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі 1 мкм. Визначте (*у джоулях* з точністю до 0,1 Дж) кількість теплоти, яка виділяється на цій ділянці протягом 30 хв. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с, швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^8$ м/с.

33. Визначте (*в електрон-вольтах*) енергію фотона, імпульс якого дорівнює $2\cdot10^{-27}\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. Швидкість світла у вакуумі дорівнює $3\cdot10^8$ м/с; $1\,\text{еВ} = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж.

34. Коли на поверхню металу падає випромінювання, довжина хвилі якого в 3 рази менша від червоної межі фотоефекту, максимальна швидкість руху фотоелектронів дорівнює 1000 км/с. Визначте (*у нанометрах*) максимальну довжину хвилі випромінювання, за якої можливий фотоефект для цього металу. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с, швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^{8}$ м/с; маса електрона — $9\cdot10^{-31}$ кг.

35. Визначте (*у пікометрах* із точністю до 0,1 пм) довжину хвилі випромінювання, якщо енергія фотона дорівнює енергії спокою електрона. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с; швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot10^{8}$ м/с; маса електрона — $9\cdot10^{-31}$ кг.

36. Коли електромагнітне випромінювання падає на поверхню металу з роботою виходу $0{,}78\cdot10^{-19}$ Дж, максимальна швидкість руху фотоелектронів дорівнює 1000 км/с. Визначте (*у км/с*) максимальну швидкість руху фотоелектронів, коли те саме випромінювання падає на поверхню металу з роботою виходу $2{,}4\cdot10^{-19}$ Дж. Маса електрона — $9\cdot10^{-31}$ кг.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д
27	1					
	2					
	3					
	4					
28	1					
	2					
	3					
	4					
29	1					
	2					
	3					
	4					
30	1					
	2					
	3					
	4					

31 | | | | , | | |
32 | | | | , | | |
33 | | | | , | | |
34 | | | | , | | |
35 | | | | , | | |
36 | | | | , | | |

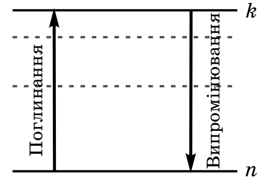
Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31 | | | | , | | |
32 | | | | , | | |
33 | | | | , | | |
34 | | | | , | | |
35 | | | | , | | |
36 | | | | , | | |

Розділ 16. АТОМ І АТОМНЕ ЯДРО

Що треба згадати



Частота випромінювання, яке відповідає переходу між станами атома: $\nu_{kn} = \frac{W_k - W_n}{h}$, де W_k, W_n — енергії початкового та кінцевого станів атома; h — стала Планка.

Закон радіоактивного розпаду: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, де N і N_0 — відповідно кінцева та початкова кількості атомів; T — період піврозпаду.

Дефект мас ядра: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{ядра}} = Zm_p + Nm_n + Zm_e - M_{\text{атома}}$, де Z і N — кількості відповідно протонів і нейтронів у ядрі, m_p, m_n і m_e — маса протона, нейтрона, електрона відповідно.

Енергія зв'язку ядра: $W_{\text{зв}} = \Delta m \cdot c^2$, де Δm — дефект мас ядра.

Питома енергія зв'язку: $\frac{W_{\text{зв}}}{A}$, де $A = Z + N$ — масове число ядра (загальна кількість нуклонів у ядрі).

Енергетичний вихід ядерної реакції: $\Delta W = \left(M_{\text{до реакції}} - M_{\text{після реакції}}\right)c^2$. Якщо $\Delta W > 0$, то в ядерній реакції енергія виділяється, якщо $\Delta W < 0$, то енергія поглинається.

Учимося розв'язувати тестові завдання

Перший рівень

1. Визначте, який висновок НЕ випливає з результату досліду Резерфорда.

А	Б	В	Г
Атом має маленьке масивне ядро	Густина ядра набагато більша за $100\,000$ кг/м^3	Ядро та електрони — елементарні частинки	Ядро атома має позитивний заряд

Розв'язання. У досліді Резерфорда спостерігалося відхилення деяких (небагатьох) альфа-частинок на великі кути, близькі до 180°. Враховуючи відносно велику масу альфа-частинок, їх позитивний заряд і величезну швидкість руху, було зроблено висновок: така частинка відскочить практично у протилежному напрямку внаслідок кулонівського відштовхування якогось більш масивного позитивно зарядженого тіла (ядра атома). За розрахунками, величезна сила відштовхування могла виникнути тільки при зближенні альфа-частинки з центром ядра на відстань, набагато меншу від радіуса атома. Отже, ядро має бути маленьким; саме цим пояснюється мала ймовірність «лобового» зіткнення альфа-частинки з ним. Розміри ядра приблизно в 10^5 разів менші від розмірів атома; отже, об'єм ядра в 10^{15} разів менший від об'єму атома. Оскільки маса ядра практично не відрізняється від маси атома, густина ядра приблизно в 10^{15} разів більша за середню густину атома (або конденсованої речовини — твердої чи рідкої). Разом з тим дослід Резерфорда не міг дати відповідь на запитання про структуру атомних ядер (чи є вони неподільними, чи можна визначити їх склад). Склад атомних ядер з'ясували значно пізніше. Правильна відповідь В.

2. Зазначте протиріччя, яке існувало між теорією Бора та законами класичної фізики. Згідно з теорією Бора...

А	Б	В	Г
...порушувався закон збереження енергії	...електрон на коловій орбіті не випромінював	...порушувався закон Кулона	...порушувалися закони динаміки Ньютона

Розв'язання. Намагаючись пояснити будову атома, Бор *спирався* на закони класичної фізики: він застосовував закони динаміки Ньютона, розраховував силу взаємодії між ядром і електроном за законом Кулона. Побудована Бором модель атома узгоджувалася із законом збереження енергії. Проте постулати Бора не випливали із законів класичної фізики: електрони «чомусь» могли «вибрати» не будь-яку колову орбіту, а тільки так звані стаціонарні орбіти. І рух цими орбітами мав відбуватися без випромінювання електромагнітних хвиль, тобто без втрат енергії. А згідно із законами класичної електродинаміки будь-який прискорений рух зарядженої частинки має супроводжуватися випромінюванням! Нагадаємо, що рух по колу (навіть рівномірний) завжди відбувається з прискоренням. Правильна відповідь Б.

3. Що саме дозволила пояснити створена Бором теорія атома?

А	Б	В	Г
Хімічні властивості елементів	Існування ізотопів	Походження лінійчастих спектрів	Походження радіоактивних випромінювань

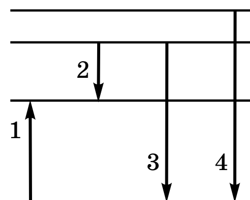
Розв'язання. Теорія Бора була першою спробою пояснити будову атома на основі принципів квантової фізики. Ця теорія дозволила пояснити існування та стійкість атомів, *походження* лінійчастих спектрів. Проте отримати правильні *значення частот* лінійчастого спектра вдалося тільки для атома Гідрогену. Навіть наступний елемент у Періодичній системі хімічних елементів (Гелій) не «піддавався» розрахункам за теорією Бора. Тому навіть не йшлося про пояснення хімічних властивостей елементів. Це було зроблено пізніше на основі більш послідовної квантової теорії. Теорія Бора взагалі не обговорювала питання щодо будови ядра та радіоактивності. Правильна відповідь В.

4. Визначте, при світінні якої речовини спостерігається лінійчастий спектр.

А	Б	В	Г
Люмінофор у лампі	Розплавлена сталь	Розріджене повітря	Розріджений гелій

Розв'язання. Згадаємо, що лінійчастий спектр зазвичай дають ізольовані атоми (саме в даному випадку існують чітко визначені енергетичні рівні, між якими й відбуваються переходи з випромінюванням світла). Ізольовані атоми існують *у розрідженому одноатомному* газі. Люмінофор і розплавлена сталь відповідають конденсованим станам речовини (твердому та рідкому), в яких атоми розташовані близько та сильно взаємодіють. Повітря ж складається головним чином із двоатомних газів (кисню та азоту). Тому правильна відповідь Г.

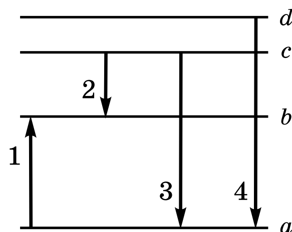
5. На рисунку показано енергетичні рівні атома. Стрілками позначено переходи між рівнями. Виберіть правильне твердження.



А	Б
Перехід 1 відповідає випромінюванню фотона	Перехід 2 відповідає поглинанню фотона
В	**Г**
Перехід 3 відбувається в основний стан атома	Перехід 4 відбувається в перший збуджений стан атома

Розв'язання. Візьмемо до уваги, що стрілки, спрямовані вгору, відповідають збільшенню енергії атома, тобто поглинанню фотона; стрілки, спрямовані вниз, — зменшенню енергії атома, тобто випромінюванню фотона. Основний стан відповідає найнижчому енергетичному рівню, потім ідуть перший збуджений стан, другий тощо. Правильна відповідь В.

6. На рисунку показано енергетичні рівні атома, а стрілками позначено переходи між рівнями. Виберіть правильне співвідношення між частотою ν випромінювання, яке поглинається, й енергією W відповідних станів атома.



А	Б	В	Г
$\nu_1 = \frac{W_a - W_b}{h}$	$\nu_1 = \frac{W_a - W_c}{h}$	$\nu_1 = \frac{W_a - W_d}{h}$	$\nu_1 = \frac{W_b - W_a}{h}$

Розв'язання. Перехід 1 відбувається між станами атома, які відповідають енергетичним рівням a і b. Атом у стані a, поглинаючи фотон з енергією $h\nu_1$, переходить у стан b. Отже, $W_a + h\nu_1 = W_b$. Правильна відповідь Г.

7. Поглинаючи світло з довжиною хвилі $\lambda = 550$ нм, атом переходить з енергетичного рівня a на рівень b. Визначте, енергія якого рівня (W_a чи W_b) вища та на скільки. Стала Планка $h = 6{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; швидкість світла у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

А	Б
$W_a - W_b = 3{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$W_a - W_b = 1{,}2 \cdot 10^{-27}$ Дж
В	**Г**
$W_b - W_a = 3{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$W_b - W_a = 1{,}2 \cdot 10^{-27}$ Дж

Розв'язання. *Поглинаючи* фотон, атом переходить на *вищий* енергетичний рівень. Отже, енергія рівня b вища на енергію фотона $h\nu = \frac{hc}{\lambda} = 3{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Правильна відповідь В.

8. Визначте кількість електронів і кількість нейтронів у нейтральному атомі Фосфору $^{31}_{15}\mathrm{P}$.

А	Б	В	Г
15 нейтронів; 16 електронів	31 нейтрон; 15 електронів	16 нейтронів; 15 електронів	31 нейтрон; 16 електронів

Розв'язання. Нижній індекс біля символу хімічного елемента означає атомний номер Z (зарядове число, кількість протонів у ядрі), а верхній індекс — масове

число A відповідного нукліда, тобто загальну кількість нуклонів у ядрі: $A = Z + N$ (тут N — кількість нейтронів у ядрі). Отже, для даного атома $N = A - Z = 31 - 15 = 16$. Оскільки атом є нейтральним (власне кажучи, заряджених атомів не існує: якщо атом втрачає або отримує електрони, він перетворюється на йон), кількість електронів дорівнює кількості протонів, тобто 15. Правильна відповідь В.

9. Яка характеристика є однаковою для ядер ізотопів одного хімічного елемента?

А	Б	В	Г
Кількість нуклонів	Кількість протонів	Кількість нейтронів	Масове число

Розв'язання. Ізотопи одного хімічного елемента мають однакові хімічні властивості. Отже, їх атоми мають однакову кількість електронів. Оскільки атоми нейтральні, кількість електронів у атомі дорівнює кількості протонів у ядрі. Це означає, що в усіх ізотопів одного хімічного елемента однакова кількість протонів у ядрі; відрізняються ж ці ізотопи кількістю нейтронів, а внаслідок цього — масовим числом (кількістю нуклонів), масою ядра тощо. Правильна відповідь Б.

10. Як унаслідок бета-розпаду змінюються атомний номер Z елемента та масове число A нукліда?

А	Б	В	Г
Z збільшується на 1; A зменшується на 1	Z зменшується на 1; A зменшується на 1	Z не змінюється; A зменшується на 1	Z збільшується на 1; A не змінюється

Розв'язання. Під час усіх ядерних перетворень виконується закон збереження заряду; крім того, зберігається загальна кількість нуклонів. При бета-розпаді (у шкільному курсі фізики вивчають електронний бета-розпад) з ядра вилітає електрон, заряд якого дорівнює $-e$ (тут e — елементарний електричний заряд). Отже, кількість нуклонів у ядрі не змінюється, а заряд ядра *збільшується* на один елементарний заряд. Фактично при бета-розпаді відбувається розпад одного з нейтронів ядра на протон, електрон і антинейтрино (протон залишається в ядрі, а електрон і антинейтрино вилітають). Правильна відповідь Г.

11. Як унаслідок альфа-розпаду змінюються атомний номер Z елемента та масове число A нукліда?

А	Б	В	Г
Z зменшується на 2; A зменшується на 2	Z зменшується на 2; A зменшується на 4	Z зменшується на 4; A зменшується на 4	Z зменшується на 4; A зменшується на 2

Розв'язання. При альфа-розпаді з ядра вилітає альфа-частинка, яка складається з двох протонів і двох нейтронів. Отже, кількість протонів у ядрі зменшується на 2, а кількість нуклонів — на 4. Правильна відповідь Б.

12. Яка частинка за невеликої кінетичної енергії може наблизитися до ядра атома та може бути захопленою ядром?

А	Б	В	Г
Електрон	Протон	Нейтрон	Альфа-частинка

Розв'язання. Протон і альфа-частинка мають позитивні заряди, тому вони відштовхуватимуться від позитивно зарядженого ядра (для зближення з ядром ці частинки треба розігнати). Електрон має негативний заряд, але через маленьку масу він не проникне всередину атома, його зупинить електронна оболонка. А от нейтрону практично ніщо не заважає наблизитися до ядра. Правильна відповідь В.

13. Виберіть рівняння ядерної реакції, яке описує утворення альфа-частинок при опроміненні алюмінієвої мішені протонами.

А	Б
${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{24}_{12}\mathrm{Mg}$	${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{23}_{11}\mathrm{Mg}$
В	**Г**
${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{23}_{11}\mathrm{Na}$	${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{24}_{12}\mathrm{Na}$

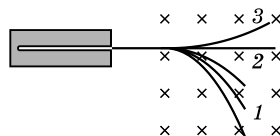
Розв'язання. Слід перевірити: 1) чи збігається в лівій та правій частинах рівняння сума нижніх індексів (тобто чи виконується закон збереження заряду); 2) чи збігається в лівій та правій частинах рівняння сума верхніх індексів (тобто чи зберігається кількість нуклонів); 3) чи відповідають індекси хімічному символу елемента. Таку перевірку витримає тільки одна відповідь. Правильна відповідь А.

14. Унаслідок ядерної реакції між ядром Меркурію $^{198}_{80}\mathrm{Hg}$ та нейтроном $^{1}_{0}n$ утворилося ядро Ауруму $^{198}_{79}\mathrm{Au}$ (цікаво, що саме так реалізується давня мрія алхіміків про отримання золота з інших речовин). Визначте, яка ще частинка (або ядро) має утворитися в результаті даної реакції.

А	Б	В	Г
$^{1}_{1}\mathrm{H}$	$^{2}_{1}\mathrm{H}$	$^{3}_{1}\mathrm{H}$	$^{4}_{2}\mathrm{He}$

Розв'язання. Скористаємося тим, що в реакції мають зберігатися заряд і сумарна кількість нуклонів (тобто суми нижніх і верхніх індексів). З цієї умови випливає, що утворена частинка має індекси $\frac{1}{1}$ і є ядром атома Гідрогену. Отже, рівняння ядерної реакції має вигляд $^{198}_{80}\mathrm{Hg} + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}\mathrm{H} + ^{198}_{79}\mathrm{Au}$. Якщо атомний номер утвореного ядра значно більший за одиницю, доведеться пошукати елемент з таким номером у Періодичній системі хімічних елементів. Правильна відповідь А.

15. Вузький пучок радіоактивного випромінювання в магнітному полі розщеплюється на три пучки (див. рисунок). Визначте, які пучки утворені альфа-частинками і гамма-квантами.



А	Б	В	Г
1 — альфа-частинки; 2 — гамма-кванти	3 — альфа-частинки; 2 — гамма-кванти	1 — альфа-частинки; 3 — гамма-кванти	3 — альфа-частинки; 1 — гамма-кванти

Розв'язання. З рисунка видно, що лінії магнітного поля напрямлені «від нас» (перпендикулярно до площини рисунка). Застосувавши правило лівої руки, доходимо висновку: позитивно заряджені частинки в пучку (альфа-частинки) відхиляються вгору. Отже, альфа-частинки утворюють пучок 3, а гамма-кванти, які не відхиляються магнітним полем, — пучок 2. Правильна відповідь Б.

16. Між якими частинками в ядрі можлива сильна (ядерна) взаємодія?

А	Б	В	Г
Тільки між протонами	Між будь-якими нуклонами	Тільки між нейтронами	Тільки між протоном і нейтроном

Розв'язання. Сильна взаємодія відбувається між будь-якими двома нуклонами, якщо вони розташовані «впритул» один до одного. Саме ця взаємодія забезпечує стійкість ядер, незважаючи на кулонівське відштовхування, яке діє між протонами. Правильна відповідь Б.

17. Джерело радіоактивного випромінювання містить 960 мг радіонукліда з періодом піврозпаду 24 роки. Визначте (*у роках*) інтервал часу, через який маса цього радіонукліда дорівнюватиме 120 мг.

Розв'язання. Маса радіоактивної речовини має зменшитися у 8 разів. Зазначимо, що $8 = 2^3$. Протягом кожного періоду піврозпаду маса зменшується вдвічі. Отже, мине три періоди піврозпаду, тобто 72 роки.

Відповідь: 72.

18. Період піврозпаду Цезію-137 дорівнює 30 років. Визначте, скільки (приблизно) відсотків атомів цього радіонукліда розпадеться за 120 років.

А	Б	В	Г
3 %	6 %	94 %	97 %

Розв'язання. 120 років становлять 4 періоди піврозпаду Цезію-137. За такий час кількість його атомів зменшиться у $2^4 = 16$ разів (залишиться приблизно 6 % початкової кількості атомів). Отже, розпадеться 94 % атомів. Правильна відповідь В.

19. Енергія спокою речовини масою 1 а. о. м. дорівнює 930 МеВ. Визначте енергетичний вихід реакції, внаслідок якої маса ядер і частинок зменшується на 0,03 а. о. м.

А	Б	В	Г
Виділяється енергія 27,9 МеВ	Поглинається енергія 27,9 МеВ	Виділяється енергія 310 МеВ	Поглинається енергія 310 МеВ

Розв'язання. Енергія спокою ядер і частинок зменшується внаслідок реакції на $0{,}03 \cdot 930 = 27{,}9$ МеВ. Відповідно до закону збереження енергії саме таким є енергетичний вихід реакції (енергія, що виділяється переважно як кінетична енергія продуктів реакції). Правильна відповідь А.

Коментар. Зазначимо, що коли маса ядер і частинок унаслідок реакції збільшується, енергетичний вихід реакції є від'ємним (енергія не виділяється, а поглинається).

20. Визначте дефект мас Δm ядра Нітрогену $^{14}_{7}\mathrm{N}$. Маса атома Нітрогену-14 $m_{\text{ат}} = 14{,}00307$ а. о. м., маса протона $m_p = 1{,}00728$ а. о. м., маса нейтрона $m_n = 1{,}00866$ а. о. м., маса електрона $m_e = 5{,}5 \cdot 10^{-4}$ а. о. м.

А	Б	В	Г
0,1086 а. о. м.	0,1124 а. о. м.	0,1144 а. о. м.	0,1162 а. о. м.



Дефектом мас ядра називають різницю між сумарною масою нуклонів (протонів *p* і нейтронів *n*), які входять до складу ядра, і масою самого ядра: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}$ (тут Z і N — кількість відповідно протонів і нейтронів у ядрі, $m_{\text{я}}$ — маса ядра). Зазвичай у довідкових таблицях наводять не масу ядра, а масу $m_{\text{ат}}$ нейтрального атома, яка більша на сумарну масу всіх електронів. Отже, $m_{\text{я}} = m_{\text{ат}} - Zm_e$ і $\Delta m = Zm_p + Nm_n + Zm_e - m_{\text{ат}}$. Підставивши наведені в умові дані, а також $Z = N = 7$, отримаємо $\Delta m = 0{,}11236$ а. о. м. Правильна відповідь Б. Отже, нічого складного в цій задачі немає. От тільки навіщо від нас вимагають такої великої точності? Чому б відразу не округлити всі маси хоча б до 0,1 або 0,01 а. о. м.?

Коментар. Тут потрібна певна обережність. Округляти, безумовно, можна, але тільки після того, як отримано значення Δm (ми так і зробили у відповідях). А от робити це з самого початку не можна (перевірте це самостійно на прикладі даного завдання). Ця проблема завжди виникає під час підрахунку різниці двох близьких чисел.

21. Визначте енергію зв'язку $W_{\text{зв}}$ ядра $^{40}_{20}\mathrm{Ca}$. Маса атома Кальцію-40 $m_{\text{ат}} = 39{,}96259$ а. о. м.; маса протона $m_p = 1{,}00728$ а. о. м.; маса нейтрона $m_n = 1{,}00866$ а. о. м.; маса електрона $m_e = 5{,}5 \cdot 10^{-4}$ а. о. м; $c^2 = 931{,}5$ МеВ/а. о. м.

А	Б	В	Г
282 МеВ	302 МеВ	322 МеВ	342 МеВ

Розв'язання. Якщо вільні нуклони об'єднуються та утворюють ядро, то повна енергія системи нуклонів *зменшується* (інакше об'єднання просто не відбувалося б). Щоб «звільнити» всі нуклони (розділити ядро на окремі частинки), тепер треба *збільшити* енергію системи, тобто передати їй так звану енергію зв'язку. Чим більша енергія зв'язку $W_{\text{зв}}$ (точніше, *питома енергія зв'язку*, тобто та частка $W_{\text{зв}}$, що припадає в середньому на один нуклон), тим міцніше ядро. Зі співвідношення Ейнштейна між масою та енергією отримуємо зв'язок між $W_{\text{зв}}$ і дефектом мас ядра Δm — формулу $W_{\text{зв}} = \Delta m \cdot c^2$. Повторивши міркування та розрахунки, наведені в попередній задачі, дістанемо

$W_{зв} = \left(Zm_p + Nm_n + Zm_e - m_{ат}\right)c^2$. Цю та схожі формули часто застосовують в атомній фізиці. Щоб уникнути громіздкої процедури переводу а. о. м. на кілограми, а МеВ — на джоулі, для коефіцієнта c^2 застосовують позасистемну одиницю МеВ/а. о. м. ($c^2 = 931{,}5$ МеВ/а. о. м.). Підставивши числові значення, отримаємо $W_{зв} = 342$ МеВ. Правильна відповідь Г.

22. Визначте енергетичний вихід ядерної реакції ${}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \to {}^{8}_{4}\mathrm{Be} + {}^{1}_{0}n$. Енергія зв'язку ядра Берилію дорівнює 56,4 МеВ, Літію — 39,2 МеВ, Дейтерію — 2,2 МеВ.

А	Б	В	Г
15 МеВ	19,4 МеВ	93,4 МеВ	97,8 МеВ

Розв'язання. Енергія зв'язку показує, скільки потрібно енергії для розділення ядра на окремі нуклони, — інакше кажучи, на скільки енергія спокою ядра менша від сумарної енергії спокою всіх нуклонів, з яких це ядро складається. Під час даної реакції кількості протонів і нейтронів не змінилися, а сумарна енергія зв'язку *збільшилася* від $39{,}2 + 2{,}2 = 41{,}4$ (МеВ) до 56,4 МеВ (зрозуміло, що нейтрон як елементарна частинка не має енергії зв'язку). Отже, енергетичний вихід ядерної реакції становить $56{,}4 - 41{,}4 = 15$ (МеВ). Правильна відповідь А.

23. Ланцюгова реакція поділу Урану підтримується завдяки тому, що разом з ядрами-осколками при поділі вилітають...

А	Б	В	Г
...протони	...нейтрони	...альфа-частинки	...бета-частинки

Розв'язання. Поділ ядер Урану при ланцюговій реакції спричинений тим, що в ядро влучає нейтрон. Реакція підтримується завдяки тому, що при поділі кожного ядра вилітають 2 або 3 «нові» нейтрони. Правильна відповідь Б.

24. Які реакції називають термоядерними?

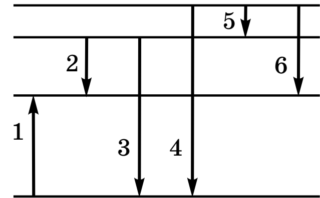
А	Б	В	Г
Реакції поділу легких ядер	Реакції синтезу між легкими ядрами	Реакції поділу важких ядер	Реакції синтезу між важкими ядрами

Розв'язання. Зазначимо, що реакції поділу легких ядер або реакції синтезу між важкими ядрами просто не існують. Реакції поділу важких ядер, які «працюють» нині в ядерних реакторах, зовсім не потребують надвисоких температур.

А от реакції синтезу між легкими ядрами, які є джерелом енергії зір і дуже перспективні як джерело енергії для людства, дійсно називають термоядерними: щоб така реакція «пішла», мають діяти ядерні сили між нуклонами обох ядер, а для цього ядра мають наблизитися одне до одного, подолавши величезне кулонівське відштовхування. Щоб надати ядрам потрібної для цього швидкості руху, речовину треба нагріти до десятків мільйонів градусів. Правильна відповідь Б.

Другий рівень

1. На рисунку показано енергетичні рівні атома, стрілками позначено переходи між рівнями (ν_k, λ_k — відповідно частота і довжина хвилі проміння, що випускається чи поглинається при переході). Виберіть правильне співвідношення.



А	Б	В	Г
$\frac{1}{\lambda_3}=\frac{1}{\lambda_5}+\frac{1}{\lambda_1}$	$\nu_5=\nu_4-\nu_1-\nu_2$	$\frac{1}{\lambda_3}>\frac{1}{\lambda_1}+\frac{1}{\lambda_6}$	$\nu_6=\nu_3-\nu_5$

Розв'язання. Порівняємо, наприклад, перехід 4 і два послідовні переходи 5–3. Оскільки початкові та кінцеві стани атома для переходу 4 і для послідовних переходів 5–3 однакові, загальна енергія випромінених фотонів теж однакова: $h\nu_4=h\nu_5+h\nu_3$. Отже, $\nu_4=\nu_5+\nu_3$. Якщо врахувати співвідношення $\nu=\frac{c}{\lambda}$, отримаємо також $\frac{1}{\lambda_4}=\frac{1}{\lambda_5}+\frac{1}{\lambda_3}$. Аналогічно можна довести, що $\nu_4>\nu_5+\nu_2$ або $\frac{1}{\lambda_4}>\frac{1}{\lambda_5}+\frac{1}{\lambda_2}$. Правильна відповідь Б.

2. Визначте, який нуклід утвориться з ядра Торію ${}^{234}_{90}\mathrm{Th}$ після трьох альфа-розпадів і двох бета-розпадів.

А	Б	В	Г
${}^{220}_{84}\mathrm{Po}$	${}^{222}_{86}\mathrm{Rn}$	${}^{220}_{86}\mathrm{Rn}$	${}^{210}_{80}\mathrm{Hg}$

Розв'язання. Після кожного альфа-розпаду масове число ядра зменшується на 4, а зарядове число — на 2. Отже, після трьох альфа-розпадів утвориться ядро з масовим числом 222 і зарядовим числом 84. Кожний бета-розпад збільшує зарядове число ядра на 1, не змінюючи масового числа. Отже, після всіх розпадів

утвориться ядро з масовим числом 222 і зарядовим числом 86. Елемент з порядковим номером 86 у Періодичній системі хімічних елементів — це Радон. Отже, утворюється $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$. Правильна відповідь Б.

3. Радіоактивний атом $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ перетворився на атом $^{212}_{83}\mathrm{Bi}$. Визначте кількість альфа- та бета-розпадів у ході цього перетворення.

А	Б	В	Г
3 альфа-розпади; 5 бета-розпадів	4 альфа-розпади; 4 бета-розпади	5 альфа-розпадів; 3 бета-розпади	5 альфа-розпадів; 4 бета-розпади

Розв'язання. У результаті перетворень масове число атома зменшилося на 20. Оскільки бета-розпади не змінюють масове число, а кожний альфа-розпад зменшує його на 4, доходимо висновку: відбулося 5 альфа-розпадів. Кожний з них зменшував атомний номер на 2, усі разом вони зменшили атомний номер на 10 (до 80). Отже, бета-розпади збільшили атомний номер на 3 (до 83). Оскільки кожний бета-розпад збільшує атомний номер на 1, таких розпадів мало відбутися 3. Правильна відповідь В.

4. Протон, що рухався зі швидкістю $v_0 = 400$ км/с, зіткнувся з нерухомим ядром. У результаті пружного зіткнення напрямок руху протона змінився на протилежний, а швидкість його руху зменшилася до $v = 350$ км/с. Визначте, з яким ядром могло відбутися це зіткнення.

А	Б	В	Г
$^{15}_{7}\mathrm{N}$	$^{16}_{8}\mathrm{O}$	$^{17}_{8}\mathrm{O}$	$^{19}_{9}\mathrm{F}$

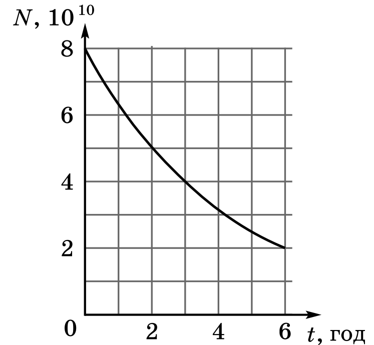


Це ж задача з механіки! Позначимо m масу протона (це приблизно 1 а. о. м.); M — масу ядра. Для пружного зіткнення виконуються закони збереження імпульсу та енергії: $\begin{cases} mv_0 = mv + Mu, \\ \dfrac{mv_0^2}{2} = \dfrac{mv^2}{2} + \dfrac{Mu^2}{2}. \end{cases}$

Переписавши ці рівняння у вигляді $m(v_0 - v) = Mu$ і $m\left(v_0^2 - v^2\right) = Mu^2$ та розділивши друге рівняння на перше, отримаємо $v_0 + v = u$. Таким чином, маємо систему двох лінійних рівнянь із двома невідомими (M і u). Розв'язавши цю систему, визначаємо масу ядра: $M = m\dfrac{v_0 - v}{v_0 + v}$. Що таке? Маса ядра набагато менша від маси протона?! Яке ж це ядро?! Мабуть, я десь помилився в розрахунках...

Коментар. У даному випадку зроблено досить поширену помилку. Не слід забувати, що імпульс і швидкість руху — величини векторні, в умові фактично наведені модулі швидкостей. А ще сказано (на що наш герой не звернув уваги), що протон *змінив напрямок руху на протилежний*. Оскільки записане вище рівняння закону збереження імпульсу фактично містить проекції векторних величин на напрямок $\vec{v}_0$, слід просто всюди замінити v на $-v$. Правильна формула має вигляд $M = m\frac{v_0 + v}{v_0 - v}$. З неї отримуємо $M = 15$ а. о. м., тобто правильна відповідь А. (Зазначимо, що твердження «для пружного зіткнення виконуються закони збереження імпульсу та енергії» не зовсім точне: ці закони виконуються для всіх зіткнень. А пружне зіткнення відрізняється від інших тим, що зберігається саме *кінетична енергія*.)

5. На рисунку подано графік залежності кількості N атомів радіонукліда від часу t. Визначте період піврозпаду цього радіонукліда.



А	Б	В	Г
2 год	3 год	4 год	6 год

Розв’язання. Протягом кожного періоду піврозпаду кількість атомів радіонукліда зменшується вдвічі, протягом двох періодів піврозпаду — у 4 рази тощо. Отже, якщо за 6 год кількість атомів зменшилась у 4 рази, то період піврозпаду дорівнює 3 год. Це легко перевірити, порівнявши кількість атомів у моменти, інтервал часу між якими дорівнює 3 год. Правильна відповідь Б.

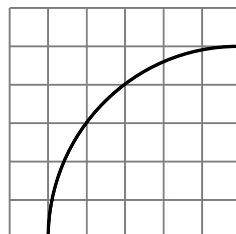
6. У камері Вільсона, розташованій в однорідному магнітному полі, розмістили стрічку з фольги. Нерелятивістська заряджена частинка рухається перпендикулярно до ліній магнітного поля. Після проходження крізь фольгу радіус треку частинки зменшився у 2,5 разу. Визначте, скільки відсотків кінетичної енергії втратила частинка під час проходження крізь фольгу.

А	Б	В	Г
16 %	40 %	60 %	84 %

Розв’язання. Частинка із зарядом q рухається в камері Вільсона по колу радіусом r під дією сили Лоренца, модуль якої у даному випадку $F_Л = |q|Bv$. Ця сила напрямлена до центра кола, вона надає частинці доцентрового прискорення, модуль якого $a = \frac{v^2}{r}$. За другим законом Ньютона $F_Л = ma$, звідки отримуємо

$r = \frac{mv}{|q|B}$. У даному випадку важливо те, що радіус треку є прямо пропорційним швидкості руху частинки. Отже, швидкість руху частинки теж зменшилася у 2,5 разу, а кінетична енергія частинки — у $2{,}5^2 = 6{,}25$ разу. Після проходження фольги кінетична енергія частинки становить $\frac{100\ \%}{6{,}25} = 16\ \%$ від початкової кінетичної енергії. Отже, частинка втратила 84 % кінетичної енергії. Правильна відповідь Г.

7. На рисунку подано трек протона, який рухався в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією $B = 0{,}17$ Тл. Лінії магнітної індукції напрямлені перпендикулярно до площини рисунка. Довжина сторони кожної клітинки сітки на рисунку $l = 1$ см. Визначте швидкість v руху протона. Маса протона $m = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг; елементарний електричний заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



А	Б	В	Г
80 км/с	160 км/с	800 км/с	1600 км/с

Розв'язання. Як видно з рисунка, протон рухався коловою траєкторією радіусом $r = 5l$. Скористаємося формулою, виведеною у розв'язанні попередньої задачі: $r = \frac{mv}{|q|B}$. У даному випадку $|q| = e$. Отримуємо $v = \frac{5eBl}{m} = 8 \cdot 10^5$ м/с. Правильна відповідь В.

8. Укажіть причину, з якої у незбагаченому Урані, навіть хімічно чистому, не може відбуватися ланцюгова реакція поділу.

А	Б	В	Г
Ядра Урану-238 поглинають нейтрони без наступного поділу	При поділі ядер Урану вилітають нейтрони з малою енергією	Ядра Урану-235 поглинають нейтрони без наступного поділу	Нейтрони не можуть зблизитися з ядрами Урану

Розв'язання. Хімічно чистий природний Уран містить 99,3 % атомів Урану-238 і лише 0,7 % атомів Урану-235. Ядра обох ізотопів можуть ділитися, поглинувши нейтрон. Але ядро Урану-238 зі значно більшою ймовірністю після поглинання нейтрона не розділиться, а зазнає інших перетворень (ці перетворення кінець кінцем приводять до утворення Плутонію). Через це коефіцієнт розмноження

нейтронів буде меншим від одиниці, якщо не збагатити природний Уран ізотопом Урану-235. Коли коефіцієнт розмноження нейтронів менший від одиниці, ланцюгова реакція затухає. Зазначимо, що саме збагачення Урану є найдорожчим етапом виготовлення ядерного пального. Правильна відповідь А.

9. Визначте ККД η атомної електростанції, якщо її потужність $P = 192$ МВт. Щодоби електростанція витрачає $m = 864$ г ядерного пального (Урану-235). Вважайте, що при кожному поділі ядра Урану виділяється енергія $W_0 = 200$ МеВ, а $1\,\text{еВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Стала Авогадро $N_\text{А} = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

А	Б	В	Г
20,5 %	23,5 %	26,5 %	29,5 %

Розв'язання. ККД електростанції визначається відношенням виробленої за добу енергії Pt, де $t = 1\,\text{доба} = 86\,400\,\text{с}$, до загальної енергії W, яка виділяється протягом доби при поділі ядер Урану: $\eta = \frac{Pt}{W} \cdot 100\,\%$. Кількість ядер, які зазнають поділу щодоби, $N = \frac{m}{M} N_\text{А}$, де $M = 0{,}235$ кг/моль — молярна маса Урану-235. Підставивши $W = NW_0$ у формулу ККД, отримаємо $\eta = \frac{PtM}{mN_\text{А}W_0} \cdot 100\,\% = 23{,}5\,\%$. Правильна відповідь Б.

Перевірте себе

Завдання 1–26 мають чотири варіанти відповідей, із яких тільки одна відповідь є правильною. Виберіть правильну, на вашу думку, відповідь і позначте її у бланку відповідей А.

1. Визначте, що мало б відбутися з планетарним атомом за законами класичної фізики.

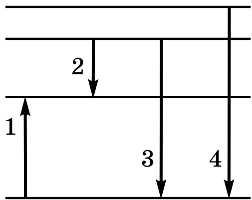
А	Б	В	Г
Втрата енергії через випромінювання, падіння електронів на ядро	Радіоактивний розпад ядра атома	Відрив електронів від ядра, розпад атома	Зіткнення між електронами атома, руйнування електронних оболонок

2. Які процеси спричиняють випромінювання світла згідно з теорією Бора?

А	Б	В	Г
Рух електронів коловими орбітами	Перехід атома з основного стану у збуджений	Перехід атома на нижчий енергетичний рівень	Будь-який прискорений рух електронів

3. На рисунку показано енергетичні рівні атома. Стрілками позначено переходи між рівнями. Виберіть правильне твердження.

А	Б
Перехід 1 — виникнення випромінювання з найбільшою частотою	Перехід 2 — поглинання випромінювання з найменшою частотою
В	**Г**
Перехід 3 — виникнення випромінювання з найбільшою частотою	Перехід 4 — виникнення випромінювання з найбільшою частотою

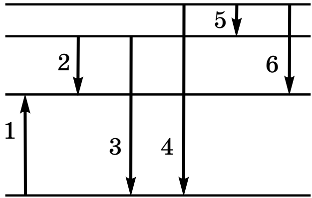


До завдань 3 і 4

4. На рисунку до завдань 3 і 4 показано енергетичні рівні атома, стрілками позначено переходи між рівнями. Виберіть правильне співвідношення (ν_k, λ_k — відповідно частота і довжина хвилі випромінювання, що випускається або поглинається при переході).

А	Б	В	Г
$\nu_1+\nu_2>\nu_3$	$\nu_1+\nu_2<\nu_4$	$\lambda_2<\lambda_3$	$\lambda_3<\lambda_4$

5. На рисунку показано енергетичні рівні атома, стрілками позначено переходи між рівнями. Виберіть правильне співвідношення (ν_k, λ_k — відповідно частота і довжина хвилі випромінювання, що випускається або поглинається при переході).



А	Б	В	Г
$\frac{1}{\lambda_3}=\frac{1}{\lambda_2}+\frac{1}{\lambda_1}$	$\nu_2=\nu_3-\nu_1-\nu_5$	$\frac{1}{\lambda_3}>\frac{1}{\lambda_4}-\frac{1}{\lambda_5}$	$\nu_6=\nu_1+\nu_2$

6. Визначте кількість електронів в електронній оболонці атома $^{27}_{13}\mathrm{Al}$.

А	Б	В	Г
13	14	27	40

7. Визначте кількість заряджених частинок в атомі Силіцію $^{30}_{14}\mathrm{Si}$.

А	Б	В	Г
14	16	28	30

8. Масове число нукліда хімічного елемента дорівнює 6. У ядрі відповідного атома кількості протонів і нейтронів однакові. Визначте цей хімічний елемент.

А	Б	В	Г
Гелій	Літій	Берилій	Карбон

9. Два протони рухаються по колових траєкторіях перпендикулярно до ліній однорідного магнітного поля. Визначте, у скільки разів відрізняються радіуси траєкторій руху цих протонів, якщо кінетичні енергії протонів відрізняються у 3 рази. Швидкості руху протонів набагато менші від швидкості світла у вакуумі.

А	Б	В	Г
$\sqrt{3}$	3	$3\sqrt{3}$	9

10. Нейтрон уперше було виділено з ядра атома в результаті бомбардування альфа-частинками Берилію $^{9}_{4}\mathrm{Be}$. Виберіть відповідне рівняння реакції.

А	Б	В	Г
$^{9}_{4}\mathrm{Be}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{12}_{5}\mathrm{B}+^{1}_{1}n$	$^{9}_{4}\mathrm{Be}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{11}_{7}\mathrm{N}+^{0}_{1}n$	$^{9}_{4}\mathrm{Be}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{12}_{6}\mathrm{C}+^{1}_{0}n$	$^{9}_{4}\mathrm{Be}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{10}_{8}\mathrm{O}+^{1}_{0}n$

11. Визначте, який нуклід утвориться з ядра Полонію $^{218}_{84}\mathrm{Po}$ після двох альфа-розпадів і трьох бета-розпадів.

А	Б	В	Г
$^{210}_{83}\mathrm{Bi}$	$^{210}_{80}\mathrm{Hg}$	$^{207}_{77}\mathrm{Ir}$	$^{210}_{79}\mathrm{Au}$

12. Період піврозпаду радіоактивного Йоду-131 дорівнює 8 діб. Визначте, скільки (приблизно) відсотків атомів цього радіонукліду залишиться через 48 діб.

А	Б	В	Г
12,5 %	3,1 %	1,6 %	0,8 %

13. Джерело радіоактивного випромінювання містить 440 мг радіонукліда з періодом піврозпаду 14 років. Визначте інтервал часу, через який маса цього радіонукліда дорівнюватиме 110 мг.

А	Б	В	Г
7 років	14 років	28 років	56 років

14. Період піврозпаду радіонукліда дорівнює 20 хв. Визначте, через який час із 32 г даного радіонукліда залишиться 250 мг.

А	Б	В	Г
1 год 20 хв	1 год 40 хв	2 год 20 хв	2 год 40 хв

15. Зразок містить однакову кількість атомів Мангану-54 і Селену-75. Визначте співвідношення кількостей N_{Mn} і N_{Se} цих атомів через 1200 діб. Вважайте, що періоди піврозпаду Мангану-54 і Селену-75 дорівнюють відповідно 300 діб і 120 діб.

А	Б	В	Г
$N_{\text{Mn}} = 32N_{\text{Se}}$	$N_{\text{Mn}} = 64N_{\text{Se}}$	$N_{\text{Mn}} = 128N_{\text{Se}}$	$N_{\text{Mn}} = 256N_{\text{Se}}$

16. Періоди піврозпаду двох радіонуклідів становлять відповідно 1 год і 2 год. Початкова кількість атомів першого радіонукліда у 8 разів більша. Визначте, через який час кількості атомів зрівняються.

А	Б	В	Г
1 год	2 год	4 год	6 год

17. Визначте період піврозпаду радіонукліда, якщо за добу в середньому розпадається 350 атомів з 400.

А	Б	В	Г
3 год	4 год	6 год	8 год

18. Енергія спокою речовини масою 1 а. о. м. дорівнює 930 МеВ. Енергетичний вихід ядерної реакції становить 18,6 МеВ. Визначте, як і на скільки змінилася внаслідок цієї реакції маса ядер і частинок.

А	Б	В	Г
Зменшилася на 0,02 а. о. м.	Зменшилася на 0,2 а. о. м.	Збільшилася на 0,02 а. о. м.	Збільшилася на 0,2 а. о. м.

19. Визначте дефект мас ядра Літію ${}_{3}^{6}\mathrm{Li}$. Маса атома Літію-6 дорівнює 6,01513 а. о. м., маса протона — 1,00728 а. о. м., маса нейтрона — 1,00866 а. о. м., маса електрона — $5{,}5\cdot10^{-4}$ а. о. м.

А	Б	В	Г
0,0394 а. о. м.	0,0377 а. о. м.	0,0360 а. о. м.	0,0343 а. о. м.

20. Визначте енергію зв'язку ядра ${}_{6}^{13}\mathrm{C}$. Маса атома Карбону-13 дорівнює 13,00335 а. о. м., маса протона — 1,00728 а. о. м., маса нейтрона — 1,00866 а. о. м., маса електрона — $5{,}5\cdot10^{-4}$ а. о. м. Енергія спокою речовини масою 1 а. о. м. становить 930 МеВ.

А	Б	В	Г
97 МеВ	94 МеВ	91 МеВ	88 МеВ

21. Визначте питому енергію зв'язку ядра ${}_{26}^{56}\mathrm{Fe}$. Маса атома Феруму-56 дорівнює 55,93494 а. о. м., маса протона — 1,00728 а. о. м., маса нейтрона — 1,00866 а. о. м., маса електрона — $5{,}5\cdot10^{-4}$ а. о. м. Енергія спокою речовини масою 1 а. о. м. становить 930 МеВ.

А	Б	В	Г
$8{,}9\ \frac{\text{МеВ}}{\text{нуклон}}$	$8{,}8\ \frac{\text{МеВ}}{\text{нуклон}}$	$8{,}7\ \frac{\text{МеВ}}{\text{нуклон}}$	$8{,}6\ \frac{\text{МеВ}}{\text{нуклон}}$

22. Визначте енергетичний вихід ядерної реакції ${}_{3}^{7}\mathrm{Li}+{}_{1}^{2}\mathrm{H}\rightarrow{}_{4}^{8}\mathrm{Be}+{}_{1}^{0}n$. Маса нейтрона дорівнює 1,00866 а. о. м., маса атома Літію-7 — 7,01601 а. о. м., маса атома Дейтерію — 2,01410 а. о. м., маса атома Берилію-8 — 8,00531 а. о. м. Енергія спокою речовини масою 1 а. о. м. становить 930 МеВ.

А	Б	В	Г
Виділяється 15 МеВ	Виділяється 18 МеВ	Поглинається 15 МеВ	Поглинається 18 МеВ

23. Визначте, які частинки влучають у ядра атомів Урану в ядерному реакторі та спричиняють поділ цих ядер.

А	Б	В	Г
Електрони	Протони	Нейтрони	Альфа-частинки

24. Для отримання некерованої ланцюгової реакції поділу Урану...

А	Б	В	Г
...вміст Урану-238 має бути підвищеним	...температура Урану має перевищувати критичну	...маса Урану має перевищувати критичну	...урановому заряду слід надати форму стержня

25. При поділі ядра Урану виділяється енергія близько 200 МеВ. Визначте, у якій формі виділяється найбільша частка цієї енергії.

А	Б	В	Г
Енергія випромінених гамма-квантів	Кінетична енергія нейтронів, що вилітають	Кінетична енергія ядер-осколків	Потенціальна енергія взаємодії ядер-осколків

26. Визначте добову витрату ядерного пального (Урану-235) атомною електростанцією, якщо потужність електростанції дорівнює 576 МВт, а ККД становить 28,2 %. Вважайте, що при кожному поділі ядра Урану виділяється енергія 200 МеВ. Стала Авогадро дорівнює $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$; $1\,еВ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

А	Б	В	Г
1,62 кг	1,84 кг	2,16 кг	2,59 кг

Завдання 27–30 мають на меті встановлення відповідностей (логічні пари). До кожного рядка, позначеного цифрою, доберіть один відповідник, позначений літерою, та зробіть відповідну позначку «×» у бланку відповідей А.

27. Установіть відповідність між прізвищами видатних учених та їхнім науковим доробком.

1 Ч. Вільсон
2 А. Беккерель
3 Е. Резерфорд
4 Н. Бор

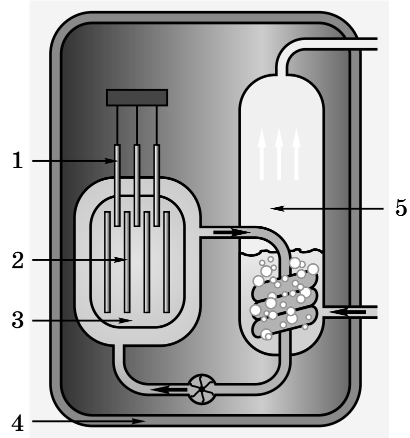
А Відкриття явища радіоактивності
Б Створення першої квантової теорії будови атома
В Створення приладу для визначення траєкторій руху заряджених частинок
Г Відкриття різних типів радіоактивного випромінювання
Д Створення протонно-нейтронної моделі будови ядра

28. Установіть відповідність між характеристикою нейтрального атома $^{235}_{92}\mathrm{U}$ і числовим значенням.

1	Кількість нуклонів	**А**	184
2	Кількість заряджених частинок	**Б**	327
3	Кількість нейтронів	**В**	470
4	Кількість частинок в атомі	**Г**	235
		Д	143

29. Установіть відповідність між складовою ядерного реактора та числом, яким позначена ця складова на рисунку.

1	Сповільнювач	**А**	1
2	Регулюючі стержні	**Б**	2
3	Ядерне пальне	**В**	3
4	Парогенератор	**Г**	4
		Д	5



30. Установіть відповідність між процесом у технічному пристрої та фізичним явищем.

1 Підсилення когерентного випромінювання в лазері
2 Виникнення треку частинки в камері Вільсона
3 Регулювання потужності ядерного реактора
4 Дія лічильника Гейгера — Мюллера

А Конденсація перенасиченої пари
Б Кипіння перегрітої рідини
В Індуковане випромінювання
Г Поглинання нейтронів Бором і Кадмієм
Д Виникнення електронної лавини

У завданнях 31–36 визначте відповідь у зазначених одиницях і числове значення відповіді перенесіть до бланка відповідей А. (Числову відповідь доцільно розрахувати за остаточною формулою розв'язання задачі в загальному вигляді.)

31. Випромінювання виникає при переході атомів газу з енергетичного рівня $-0{,}63\cdot 10^{-19}$ Дж на рівень $-1{,}62\cdot 10^{-19}$ Дж. Визначте (*у мікрометрах*) довжину хвилі цього випромінювання у вакуумі. Стала Планка дорівнює $6{,}6\cdot 10^{-34}$ Дж · с; швидкість світла у вакуумі становить $3\cdot 10^{8}$ м/с.

32. В однорідне магнітне поле перпендикулярно до його ліній влітають з однаковими швидкостями два однозарядні йони. Перший з них (з відносною атомною масою 23) рухається по колу радіусом 4,6 мм, а другий — по колу радіусом 5 мм. Визначте відносну атомну масу другого йона.

33. У природне середовище потрапив радіонуклід з періодом піврозпаду 2 доби. Вважають, що небезпека минула, якщо потужність дози йонізуючого випромінювання зменшилася в 1000 разів. Визначте (*у добах*), скільки часу має для цього минути. Відповідь округліть до цілого числа.

34. Період піврозпаду Калію-42 дорівнює 12 год. При розпаді кожного ядра виділяється енергія 5 МеВ. Визначте (*у джоулях*), скільки енергії виділить протягом 36 год препарат, який містить $8\cdot 10^{14}$ атомів Калію-42; $1\text{ eB} = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Дж.

35. Кінетична енергія альфа-частинки після лобового пружного зіткнення зменшилась на 19 %. Визначте (*в атомних одиницях маси*) масу ядра, з яким зіткнулася ця частинка. Вважайте, що маса альфа-частинки дорівнює 4 а. о. м.

36. Визначте (*у тисячах тон*) масу води, яку можна нагріти від 20 до 60 °С за рахунок енергії, що виділяється при поділі 94 г Урану-235. Вважайте, що при кожному поділі ядра Урану виділяється енергія 200 МеВ. Стала Авогадро дорівнює $6\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$; питома теплоємність води $4200\,\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$; $1\text{ eB} = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Дж. Втрати енергії не враховуйте; відповідь округліть до 1000 т.

БЛАНК ВІДПОВІДЕЙ А

Увага! Відмічайте тільки один варіант відповіді в рядку варіантів відповідей до кожного завдання. Дотримуйтесь, будь ласка, правил запису відповідей. У завданнях 31–36 правильну відповідь записуйте, враховуючи положення коми, по одній цифрі в кожному білому прямокутнику. Знак «мінус» записуйте в окремому білому прямокутнику ліворуч від цифри.

Наприклад: **правильно** записане число 2 матиме такий вигляд: | | | 2 , | | |

чи такий: | | | 2 , 0 | |

правильно записане число 2,5 матиме такий вигляд: | | | 2 , 5 | |

правильно записане число –2,05 матиме такий вигляд: | | – | 2 , 0 | 5 |

НЕправильно записане число 2,5 має такий вигляд: 2 | | | , 5 | |

чи такий: | | | 2 , | | 5

У завданнях 1–30 правильну відповідь позначайте тільки так: ☒.

Якщо ви позначили відповідь до котрогось із завдань 1–30 неправильно, то можете її виправити, замалювавши попередню позначку та поставивши нову, як показано на зразку:

	А	Б	В	Г	Д
1	☒		■		
2					
3					
4					

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1					8					15					22				
2					9					16					23				
3					10					17					24				
4					11					18					25				
5					12					19					26				
6					13					20									
7					14					21									

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1						28	1						29	1						30	1					
	2							2							2							2					
	3							3							3							3					
	4							4							4							4					

31		,	33		,	35		,
32		,	34		,	36		,

Місце виправлення помилкової відповіді

Щоб виправити відповідь до котрогось із завдань 31–36, запишіть нову відповідь у відповідних клітинках.

31		,	33		,	35		,
32		,	34		,	36		,

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТІВ «ПЕРЕВІРТЕ СЕБЕ»

Розділ 1. Основи кінематики

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1		X			8			X		15	X				22	X			
2				X	9				X	16	X				23			X	
3	X				10			X		17		X			24	X			
4			X		11		X			18			X		25				X
5		X			12		X			19				X	26			X	
6			X		13			X		20				X					
7		X			14	X				21		X							

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1			X			28	1		X			
	2				X			2	X				
	3		X					3			X		
	4					X		4					X

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
29	1		X				30	1		X			
	2	X						2					X
	3					X		3				X	
	4				X			4			X		

31	1,57	33	25,	35	6,
32	30,	34	45,	36	10,

Розділ 2. Основи динаміки

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1		X			8				X	15				X	22			X	
2	X				9		X			16		X			23			X	
3		X			10			X		17			X		24			X	
4		X			11				X	18	X				25			X	
5		X			12	X				19				X	26		X		
6			X		13				X	20				X					
7		X			14	X				21	X								

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1				X		28	1			X		
	2			X				2		X			
	3					X		3	X				
	4		X					4					X

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
29	1					X	30	1			X		
	2				X			2	X				
	3			X				3					X
	4	X						4		X			

31	0,3	33	0,5	35	20,
32	1,	34	100,	36	3,82

Розділ 3. Закони збереження в механіці

№	А	Б	В	Г
1			X	
2				X
3			X	
4		X		
5				X
6		X		
7			X	
8				X
9			X	
10		X		
11			X	
12		X		
13				X
14			X	
15				X
16	X			
17			X	
18				X
19	X			
20		X		
21	X			
22				X
23		X		
24	X			
25		X		
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1				X	
	2		X			
	3					X
	4	X				
28	1				X	
	2	X				
	3					X
	4			X		
29	1		X			
	2	X				
	3					X
	4				X	
30	1				X	
	2			X		
	3		X			
	4					X

№	Відповідь
31	0,5
32	40,
33	92,
34	4,
35	60,
36	3,

Розділ 4. Елементи механіки рідин і газів

№	А	Б	В	Г
1		X		
2				X
3				X
4			X	
5				X
6			X	
7	X			
8				X
9			X	
10	X			
11				X
12			X	
13			X	
14	X			
15		X		
16			X	
17		X		
18				X
19	X			
20			X	
21			X	
22		X		
23			X	
24			X	
25		X		
26		X		

№		А	Б	В	Г	Д
27	1			X		
	2					X
	3		X			
	4				X	
28	1				X	
	2			X		
	3					X
	4	X				
29	1					X
	2		X			
	3				X	
	4			X		
30	1			X		
	2					X
	3		X			
	4	X				

№	Відповідь
31	1,5
32	80,
33	2,5
34	0,95
35	0,2
36	1,5

Розділ 5. Основи молекулярно-кінетичної теорії

№	А	Б	В	Г
1			X	
2		X		
3			X	
4	X			
5		X		
6				X
7	X			
8	X			
9	X			
10				X
11		X		
12	X			
13		X		
14		X		
15			X	
16	X			
17				X
18			X	
19	X			
20		X		
21			X	
22				X
23				X
24			X	
25		X		
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1				X	
	2		X			
	3					X
	4			X		
28	1			X		
	2	X				
	3		X			
	4					X
29	1			X		
	2					X
	3		X			
	4				X	
30	1		X			
	2	X				
	3					X
	4				X	

№	Відповідь
31	600,
32	4,
33	25,
34	0,5
35	1,25
36	25,

Розділ 6. Основи термодинаміки

№	А	Б	В	Г
1				X
2			X	
3	X			
4			X	
5		X		
6			X	
7			X	
8		X		
9			X	
10			X	
11		X		
12				X
13	X			
14			X	
15			X	
16	X			
17			X	
18	X			
19		X		
20			X	
21			X	
22			X	
23				X
24				X
25			X	
26	X			

№		А	Б	В	Г	Д
27	1		X			
	2					X
	3	X				
	4			X		
28	1				X	
	2	X				
	3		X			
	4			X		
29	1					X
	2			X		
	3	X				
	4				X	
30	1			X		
	2				X	
	3		X			
	4	X				

№	Відповідь
31	4,8
32	2,49
33	4,5
34	0,032
35	0,3
36	27,

Розділ 7. Властивості пари, рідин і твердих тіл

№	А	Б	В	Г
1		X		
2		X		
3		X		
4	X			
5				X
6		X		
7			X	
8				X
9	X			
10			X	
11			X	
12				X
13			X	
14		X		
15			X	
16			X	
17				X
18		X		
19		X		
20				X
21	X			
22			X	
23				X
24			X	
25		X		
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1				X	
	2			X		
	3	X				
	4					X
28	1					X
	2			X		
	3	X				
	4				X	
29	1		X			
	2				X	
	3					X
	4	X				
30	1			X		
	2		X			
	3	X				
	4					X

№	Відповідь
31	1,2
32	25,
33	800,
34	30,
35	6,
36	0,68

Розділ 8. Основи електростатики

№	А	Б	В	Г
1		X		
2				X
3				X
4				X
5		X		
6			X	
7		X		
8			X	
9	X			
10				X
11		X		
12			X	
13	X			
14			X	
15			X	
16			X	
17				X
18	X			
19		X		
20				X
21	X			
22		X		
23		X		
24	X			
25		X		
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1	X				
	2		X			
	3					X
	4			X		
28	1				X	
	2			X		
	3					X
	4	X				
29	1			X		
	2		X			
	3				X	
	4	X				
30	1		X			
	2	X				
	3				X	
	4			X		

№	Відповідь
31	2,5
32	4,
33	5,
34	0,16
35	3,75
36	8,4

Розділ 9. Закони постійного струму

№	А	Б	В	Г
1		X		
2				X
3			X	
4			X	
5	X			
6		X		
7	X			
8		X		
9		X		
10				X
11			X	
12				X
13			X	
14		X		
15				X
16	X			
17		X		
18				X
19		X		
20			X	
21		X		
22			X	
23				X
24				X
25		X		
26	X			

№		А	Б	В	Г	Д
27	1					X
	2	X				
	3		X			
	4			X		
28	1			X		
	2				X	
	3					X
	4	X				
29	1	X				
	2				X	
	3			X		
	4		X			
30	1			X		
	2		X			
	3	X				
	4					X

№	Відповідь
31	20,
32	200,
33	16,
34	41,
35	21,
36	1,225

Розділ 10. Електричний струм у різних середовищах

№	А	Б	В	Г
1			X	
2		X		
3			X	
4				X
5			X	
6		X		
7				X
8				X
9				X
10	X			
11			X	
12		X		
13			X	
14		X		
15				X
16	X			
17	X			
18			X	
19		X		
20				X
21			X	
22	X			
23	X			
24				X
25			X	
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1			X		
	2		X			
	3					X
	4	X				
28	1		X			
	2	X				
	3				X	
	4					X
29	1				X	
	2					X
	3			X		
	4	X				
30	1					X
	2				X	
	3	X				
	4		X			

№	Відповідь
31	1,35
32	30,
33	1,5
34	1600,
35	120,
36	0,8

Розділ 11. Магнітне поле, електромагнітна індукція

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1		X			8			X		15		X			22		X		
2	X				9		X			16			X		23	X			
3				X	10		X			17		X			24				X
4		X			11			X		18				X	25			X	
5			X		12				X	19			X		26				X
6	X				13	X				20		X							
7		X			14	X				21			X						

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1		X				28	1	X					29	1					X	30	1			X		
	2			X				2		X					2			X				2				X	
	3	X						3					X		3	X						3					X
	4					X		4			X				4				X			4		X			

31	2,	33	2,5	35	5,
32	6,	34	64,	36	0,01

Розділ 12. Механічні коливання і хвилі

	А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г		А	Б	В	Г
1		X			8				X	15	X				22			X	
2				X	9		X			16		X			23			X	
3				X	10			X		17	X				24				X
4			X		11		X			18		X			25				X
5	X				12			X		19	X				26	X			
6		X			13				X	20		X							
7			X		14		X			21	X								

		А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д			А	Б	В	Г	Д
27	1	X					28	1				X		29	1				X		30	1	X				
	2		X					2	X						2			X				2				X	
	3				X			3					X		3		X					3					X
	4					X		4			X				4	X						4		X			

31	9,6	33	2,6	35	0,6
32	2,5	34	4,	36	255,

Розділ 13. Електромагнітні коливання і хвилі

№	А	Б	В	Г
1	X			
2	X			
3	X			
4		X		
5			X	
6		X		
7			X	
8		X		
9			X	
10	X			
11				X
12				X
13		X		
14	X			
15			X	
16		X		
17		X		
18		X		
19				X
20				X
21				X
22				X
23		X		
24			X	
25		X		
26	X			

№		А	Б	В	Г	Д
27	1	X				
	2				X	
	3		X			
	4			X		
28	1				X	
	2	X				
	3		X			
	4					X
29	1		X			
	2					X
	3				X	
	4			X		
30	1	X				
	2		X			
	3				X	
	4					X

№	Відповідь
31	0,7
32	200,
33	0,155
34	3,14
35	2,4
36	5,

Розділ 14. Оптика

№	А	Б	В	Г
1			X	
2			X	
3			X	
4				X
5			X	
6			X	
7	X			
8			X	
9				X
10		X		
11			X	
12		X		
13		X		
14	X			
15			X	
16				X
17	X			
18			X	
19		X		
20	X			
21		X		
22			X	
23				X
24		X		
25			X	
26	X			

№		А	Б	В	Г	Д
27	1			X		
	2		X			
	3					X
	4	X				
28	1					X
	2			X		
	3				X	
	4	X				
29	1		X			
	2	X				
	3					X
	4			X		
30	1				X	
	2			X		
	3		X			
	4	X				

№	Відповідь
31	0,8
32	3,4
33	25,
34	15,
35	250,
36	50,

Розділ 15. Елементи теорії відносності. Світлові кванти

№	А	Б	В	Г
1			X	
2	X			
3				X
4		X		
5			X	
6	X			
7				X
8	X			
9		X		
10	X			
11		X		
12			X	
13				X
14				X
15		X		
16		X		
17			X	
18	X			
19		X		
20		X		
21				X
22			X	
23			X	
24		X		
25			X	
26		X		

№		А	Б	В	Г	Д
27	1					X
	2				X	
	3	X				
	4			X		
28	1				X	
	2			X		
	3		X			
	4					X
29	1				X	
	2	X				
	3					X
	4			X		
30	1				X	
	2			X		
	3		X			
	4	X				

№	Відповідь
31	90,
32	2,5
33	3,75
34	880,
35	2,4
36	800,

Розділ 16. Атом і атомне ядро

№	А	Б	В	Г
1	X			
2			X	
3				X
4		X		
5	X			
6	X			
7			X	
8		X		
9	X			
10			X	
11	X			
12			X	
13			X	
14			X	
15		X		
16				X
17				X
18	X			
19				X
20	X			
21		X		
22	X			
23			X	
24			X	
25			X	
26			X	

№		А	Б	В	Г	Д
27	1			X		
	2	X				
	3				X	
	4		X			
28	1				X	
	2	X				
	3					X
	4		X			
29	1			X		
	2	X				
	3		X			
	4					X
30	1			X		
	2	X				
	3				X	
	4					X

№	Відповідь
31	2,
32	25,
33	20,
34	560,
35	76,
36	46,

Значення тригонометричних функцій деяких кутів

α, град	0°	30°	45°	60°	90°	120°	135°	150°	180°
α, рад	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{2\pi}{3}$	$\frac{3\pi}{4}$	$\frac{5\pi}{6}$	π
$\sin\alpha$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$\cos\alpha$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1
$\mathrm{tg}\,\alpha$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	—	$-\sqrt{3}$	-1	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	0
$\mathrm{ctg}\,\alpha$	—	$\sqrt{3}$	1	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	0	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$	-1	$-\sqrt{3}$	—

Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць

Префікс	Символ	Множник	Префікс	Символ	Множник
тера-	Т	10^{12}	санти-	с	10^{-2}
гіга-	Г	10^{9}	мілі-	м	10^{-3}
мега-	М	10^{6}	мікро-	мк	10^{-6}
кіло-	к	10^{3}	нано-	н	10^{-9}
гекто-	г	10^{2}	піко-	п	10^{-12}
деци-	д	10^{-1}	фемто-	ф	10^{-15}

КОРОТКИЙ ФІЗИЧНИЙ ДОВІДНИК

Додаток до видання:

І. М. Гельфгат.

Повний курс шкільної фізики в тестах

(Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 384 с.)

Розділ 1. ОСНОВИ КІНЕМАТИКИ

- **Миттєва швидкість руху:** $\vec{v} = \dfrac{\Delta\vec{s}}{\Delta t}$, де $\Delta\vec{s}$ — переміщення тіла за малий інтервал часу Δt.
- **Прямолінійний рівномірний рух:** $\vec{s} = \vec{v}t$, де $\vec{s}$ — переміщення тіла за час t; $\vec{v}$ — швидкість руху тіла.
- **Проекція переміщення на вісь *Ox*:** $s_x = v_x t$, де v_x — проекція швидкості руху на вісь Ox.
- **Координата тіла:** $x = x_0 + v_x t$, де x_0 — початкова координата тіла.
- **Середня швидкість нерівномірного руху:** $\vec{v} = \dfrac{\vec{s}}{t} = \dfrac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \ldots}{t_1 + t_2 + \ldots}$, де $\vec{s}$ — загальне переміщення тіла за час t, яке складається з переміщень $\vec{s}_1$, $\vec{s}_2$, ..., що відбувалися за інтервали часу t_1, t_2, ...

- **Середня шляхова швидкість:** $v = \frac{l}{t} = \frac{l_1 + l_2 + \ldots}{t_1 + t_2 + \ldots}$, де l — загальний шлях, пройдений тілом за час t; l_1, l_2, ... — довжини окремих ділянок траєкторії, які тіло проходило за інтервали часу t_1, t_2, ...

- **Закон додавання швидкостей:** $\vec{v}_{\text{тіло–НСВ}} = \vec{v}_{\text{тіло–РСВ}} + \vec{v}_{\text{РСВ–НСВ}}$, де НСВ — нерухома система відліку; РСВ — рухома система відліку.

- **Прискорення:** $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, де $\Delta \vec{v}$ — зміна швидкості руху тіла за малий інтервал часу Δt.

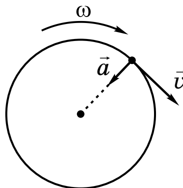
- **Прямолінійний рівноприскорений рух:** $v_x = v_{0x} + a_x t$, де v_x, v_{0x}, a_x — проекції на вісь Ox відповідно швидкості руху тіла, його початкової швидкості та прискорення.

1. Основи кінематики

$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}t = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$, де s_x — проекція переміщення тіла на вісь Ox.

$x = x_0 + s_x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, де x, x_0 — відповідно координата тіла та початкова координата тіла.

- **Рівномірний рух по колу радіусом *R*:**



Кутова швидкість руху: $\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, де $\Delta\varphi$ — кут повороту радіуса за інтервал часу Δt.

Лінійна швидкість руху: $v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi n R$,

де T — період обертання; $n = \frac{1}{T}$ — обертова частота.

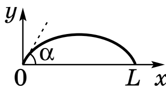
Доцентрове прискорення: $a = \omega v = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$.

- **Рух тіла, яке кинули горизонтально:**



$v_x = v_0$, $v_y = -gt$, $L = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$, де v_0 — модуль початкової швидкості руху; g — прискорення вільного падіння; L — горизонтальна дальність польоту тіла.

▸ **Рух тіла, яке кинули під кутом до горизонту:**



$v_x = v_{0x}$, $v_y = v_{0y} - gt$, $L = \frac{2v_{0x}v_{0y}}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$, де α — кут, який утворює початкова швидкість руху із горизонтальною площиною; v_0 — модуль початкової швидкості руху; L — дальність польоту тіла.

Розділ 2. ОСНОВИ ДИНАМІКИ

▸ **Рівнодійна $\vec{F}$ сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, ..., прикладених до матеріальної точки:** $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$

- **Перший закон Ньютона:** $\vec{v} = \overrightarrow{\text{const}}$ за умови $F = 0$ (за відсутності зовнішніх сил або за умови їх взаємної компенсації тіло перебуває в спокої або рухається за інерцією прямолінійно рівномірно).

- **Другий закон Ньютона:** прискорення тіла $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, де $\vec{F}$ — рівнодійна прикладених до тіла сил; m — маса тіла.

- **Третій закон Ньютона:** $\vec{F}_{1-2} = -\vec{F}_{2-1}$ (під час взаємодії двох тіл виникають сили, рівні за модулем і напрямлені вздовж однієї прямої в протилежних напрямках).

- **Сила тяжіння:** $\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g}$, де $\vec{g}$ — прискорення вільного падіння.

- **Закон всесвітнього тяжіння:** $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$, де F — сила гравітаційної взаємодії двох матеріальних точок масами m_1 і m_2; G — гравітаційна стала; r — відстань між матеріальними точками.

- **Перша космічна швидкість:** $v_{\mathrm{I}} = \sqrt{G\frac{M}{R}}$, де M, R — відповідно маса та радіус планети.

- **Вага тіла, яке рухається з прискоренням:** $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$, де $\vec{a}$ — прискорення руху тіла.

  Якщо $\vec{a}$ напрямлене вгору $(\uparrow)$: $P = m(g + a)$.

  Якщо $\vec{a}$ напрямлене вниз $(\downarrow)$: $P = m(g - a)$.

- **Закон Гука:** $F_x = -kx$, де $\vec{F}$ — сила пружності; k — жорсткість пружини або стержня; x — видовження пружини або стержня ($x = l - l_0$, де l, l_0 — відповідно довжина деформованого та недеформованого тіла).

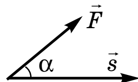
- **Сила тертя ковзання:** $F_{\text{тер}} = \mu N$, де μ — коефіцієнт тертя; $\vec{N}$ — сила нормального тиску.

- **Сила тертя спокою:** $F_{\text{тер}} \leqslant \mu N$.

- **Умови рівноваги тіла, на яке діють кілька сил:**
  1) $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots = 0$;
  2) $M_1 + M_2 + \ldots = 0$, де $M = \pm Fl$ — момент сили; l — плече сили. Знак «+» відповідає моменту сили, яка намагається обертати тіло проти ходу годинникової стрілки; знак «−» відповідає моменту сили, яка намагається обертати тіло за ходом годинникової стрілки.

Розділ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

- **Імпульс тіла:** $\vec{p} = m\vec{v}$.
- **Імпульс сили:** $\vec{F}t$, де t — час дії сили.
- **Другий закон Ньютона в імпульсній формі:** $\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$.
- **Закон збереження імпульсу:** $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \ldots = \overrightarrow{\mathrm{const}}$ (загальний імпульс замкненої системи тіл залишається незмінним).
- **Механічна робота:**
  $A = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs\cos\alpha$, де α — кут між напрямком сили $\vec{F}$ і напрямком переміщення $\vec{s}$.



- **Кінетична енергія тіла (енергія тіла, яке рухається зі швидкістю $\vec{v}$):** $W_к = \frac{mv^2}{2}$.

- **Теорема про кінетичну енергію:** $A = \Delta W_к$ (загальна робота сил, які діють на тіло, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла).

- **Потенціальна енергія тіла в полі тяжіння:** $W_п = mgh$, де h — висота тіла над вибраним нульовим рівнем.

- **Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:** $W_п = \frac{kx^2}{2}$, де k — жорсткість тіла (пружини або стержня); $x = l - l_0$ — деформація тіла (l, l_0 — довжини відповідно деформованого та недеформованого тіла).

- **Робота сили тяжіння або пружності:** $A = -\Delta W_п$.

- **Механічна енергія:** $W = W_к + W_п$.

- **Закон збереження механічної енергії:** $W = W_{к} + W_{п} = \mathrm{const}$ (у замкненій системі тіл, що взаємодіють тільки силами тяжіння та пружності, механічна енергія не змінюється).
- **Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізму:** $\eta = \frac{A_{кор}}{A_{вик}} \cdot 100\,\%$, де $A_{кор}$ і $A_{вик}$ — відповідно корисна та виконана роботи.
- **Пружне зіткнення тіл:** $W_{к1} + W_{к2} + \ldots = \mathrm{const}$ (внутрішній стан тіл не змінюється, кінетична енергія не переходить в інші форми).
- **Непружне зіткнення тіл:** $W_{к\,(почат)} = W_{к\,(кінц)} + Q$, де Q — енергія, яка перейшла в інші форми (зазвичай це кількість теплоти, що виділяється внаслідок зіткнення тіл).
- **Абсолютно непружне зіткнення тіл:** кінцеві швидкості руху тіл однакові.

Розділ 4. ЕЛЕМЕНТИ МЕХАНІКИ РІДИН І ГАЗІВ

- **Тиск на поверхню:** $p=\frac{F}{S}$, де $\vec{F}$ — сила, що діє по нормалі до поверхні; S — площа поверхні.
- **Тиск стовпа рідини:** $p=\rho gh$, де ρ — густина рідини; h — висота стовпа рідини.
- **Для ідеальної гідравлічної машини:** $\frac{F_2}{F_1}=\frac{S_2}{S_1}$, де F_1, F_2 — модулі сил, що діють на поршні; S_1, S_2 — площі відповідних поршнів.
- **Сила Архімеда в рідині:** $F_{\text{A}}=\rho gV$, де ρ — густина рідини; V — об'єм зануреної частини тіла (об'єм витісненої рідини).
- **Сила Архімеда в газі:** $F_{\text{A}}=\rho gV$, де ρ — густина газу; V — об'єм тіла.

- **Умова плавання тіла в рідині або газі:** $F_A = mg$.
- **Для суцільного тіла** густиною ρ у рідині густиною $\rho_{рід}$:

  $\rho < \rho_{рід}$ тіло плаває на поверхні рідини;

  $\rho = \rho_{рід}$ тіло плаває всередині рідини, повністю занурившись;

  $\rho > \rho_{рід}$ тіло тоне.

Розділ 5. ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

- **Молярна маса:** $M = m_0 N_A$, де m_0 — маса молекули; N_A — стала Авогадро.
- **Відносна молекулярна маса:** $M_r = \frac{m_0}{m_0(C)/12}$,

  $m_0(C)$ — маса атома Карбону.

- **Кількість речовини:** $\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$, де N — кількість молекул.
- **Маса речовини:** $m = m_0 N = \nu M$.
- **Концентрація молекул:** $n = \frac{N}{V}$, де V — об’єм речовини.
- **Густина речовини:** $\rho = \frac{m}{V} = n m_0$, де n — концентрація молекул.
- **Основне рівняння МКТ ідеального газу:**

  $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \overline{W}_к$, де p — тиск газу; $\overline{W}_к$ — середня кінетична енергія поступального руху молекул.
- **Зв’язок $\overline{W}_к$ з абсолютною температурою T:** $\overline{W}_к = \frac{3}{2} kT$, де k — стала Больцмана.

5. Основи молекулярно-кінетичної теорії

- **Середня квадратична швидкість молекул:** $\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\dfrac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\dfrac{3RT}{M}}$, де $R = kN_\text{A}$ — універсальна газова стала.

- **Тиск ідеального газу:** $p = nkT$, де n — концентрація молекул; k — стала Больцмана; T — абсолютна температура.

- **Рівняння стану ідеального газу:**

  Рівняння Клапейрона:

  $\dfrac{pV}{T} = \text{const}$ за незмінної кількості газу, де p — тиск газу; V — об'єм газу; T — абсолютна температура газу.

  Рівняння Менделєєва — Клапейрона:

  $pV = \dfrac{m}{M}RT$, де m і M — відповідно маса та молярна маса газу; R — універсальна газова стала.

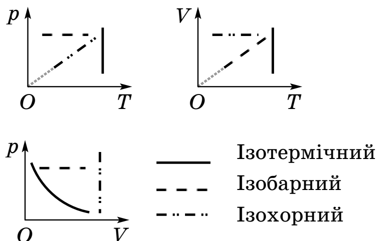
- **Газові закони** (виконуються для ізопроцесів):

Закон Бойля — Маріотта: $pV = \text{const}$, якщо $T = \text{const}$ (ізотермічний процес).

Закон Гей-Люссака: $\frac{V}{T} = \text{const}$, якщо $p = \text{const}$ (ізобарний процес).

Закон Шарля: $\frac{p}{T} = \text{const}$, якщо $V = \text{const}$ (ізохорний процес).

- **Схематичні графіки ізопроцесів:**



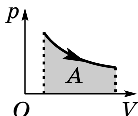
Розділ 6. ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ

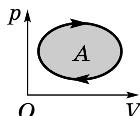
- **Внутрішня енергія одноатомного ідеального газу:** $U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$, де m і M — відповідно маса та молярна маса газу; R — універсальна газова стала; T — абсолютна температура газу.

- **Кількість теплоти:**
$Q = cm\Delta t$, $Q = \pm\lambda m$, $Q = \pm Lm$, $Q = qm$, де c — питома теплоємність; m — маса речовини; Δt — зміна температури; λ — питома теплота плавлення; L — питома теплота пароутворення; q — питома теплота згоряння. Знак «+» вибирають, коли тепло поглинається (зокрема, при плавленні та пароутворенні), знак «−» вибирають, коли тепло виділяється (зокрема, при кристалізації та конденсації).

- **Робота газу при ізобарному процесі:**
  $A = p\Delta V$ (робота зовнішніх сил $A' = -A$). Тут p — тиск газу; ΔV — зміна об'єму газу.

- **Графічне визначення роботи газу** (тільки за графіком у координатах p, V):





- **Перший закон термодинаміки:** $\Delta U = Q + A' = Q - A$, де ΔU — зміна внутрішньої енергії тіла; Q — отримана тілом кількість теплоти; A' — робота зовнішніх сил; A — робота тіла (газу).

- **Рівняння теплового балансу:** $Q_1 + Q_2 + \ldots = 0$, де Q_1, Q_2, ... — кількості теплоти, отримані частинами 1, 2, ... замкненої системи під час теплопередачі.

- **ККД теплової машини:** $\eta = \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{нагр}}} \cdot 100\,\%$,

де $Q_{\text{нагр}}$ — кількість теплоти, віддана нагрівником; $Q_{\text{хол}}$ — кількість теплоти, отримана холодильником.

- **ККД ідеальної теплової машини:**

$\eta_{\max} = \frac{T_{\text{нагр}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{нагр}}} \cdot 100\,\%$, де $T_{\text{нагр}}$ і $T_{\text{хол}}$ — абсолютна температура відповідно нагрівника та холодильника.

Розділ 7. ВЛАСТИВОСТІ ПАРИ, РІДИН І ТВЕРДИХ ТІЛ

- **Відносна вологість повітря:** $\varphi = \frac{p}{p_{\text{н}}} \cdot 100\,\% = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} \cdot 100\,\%$, де $p_{\text{н}}$ і $\rho_{\text{н}}$ — відповідно тиск

і густина насиченої водяної пари за даної температури; p і ρ — відповідно тиск і густина водяної пари в повітрі.

- **Поверхнева енергія:** $W_п = \sigma S$, де σ — поверхневий натяг рідини; S — площа поверхні рідини.

- **Сила поверхневого натягу рідини:** $F_{пн} = \sigma l$, де l — довжина межі поверхні рідини.

- **Висота підіймання рідини в капілярі:** $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$, де ρ — густина рідини; r — радіус капіляра.

- **Відносне видовження (стержня або пружини):** $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, де $\Delta l = l - l_0$ — видовження тіла; l_0, l — довжина відповідно недеформованого та деформованого тіла.

- **Механічна напруга:** $\sigma = \frac{F}{S}$, де $\vec{F}$ — сила, яка діє уздовж осі стержня; S — площа поперечного перерізу стержня.

- **Закон Гука:** $\sigma = E|\varepsilon|$, де E — модуль пружності (модуль Юнга); ε — відносне видовження тіла.

Розділ 8. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

- **Закон збереження електричного заряду:** $q_1 + q_2 + \ldots = \text{const}$ (електричний заряд замкненої системи тіл є незмінним).

- **Закон Кулона (для точкових зарядів q_1 і q_2 у вакуумі):** $F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^2} = \frac{|q_1|\cdot|q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, де F —

модуль сили кулонівської взаємодії; r — відстань між точковими зарядами; ε_0 — електрична стала.

- **Напруженість електричного поля:** $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}$, де $\vec{F}$ — сила, з якою поле діє на пробний заряд $q_{\text{пр}}$.

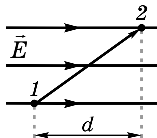
- **Принцип суперпозиції полів:** $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \ldots$, де $\vec{E}$ — напруженість електричного поля, створеного системою точкових зарядів; $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \ldots$ — напруженості електричних полів, створених у даній точці точковими зарядами $q_1,\ q_2, \ldots$.

- **Потенціал електричного поля:** $\varphi = \frac{W_{\text{п}}}{q_{\text{пр}}}$, де $W_{\text{п}}$ — потенціальна енергія пробного заряду $q_{\text{пр}}$ у даній точці поля.

- **Різниця потенціалів:** $U = \varphi_1 - \varphi_2$, де φ_1, φ_2 — потенціал електричного поля відповідно в точці 1 і точці 2.

- **Робота електричного поля:** $A = qU$, де q — електричний заряд, який рухається в електричному полі; U — різниця потенціалів між початковою та кінцевою точками траєкторії руху електричного заряду.

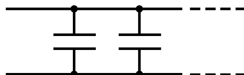
- **Зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю однорідного поля:** $U = \varphi_1 - \varphi_2 = Ed$, де d — проекція переміщення заряду на напрямок силових ліній поля (див. рисунок).



- **Напруженість поля точкового заряду q у вакуумі:** $E = k\dfrac{|q|}{r^2} = \dfrac{|q|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

- **Напруженість поля точкового заряду *q* в діелектрику:** $E = k\frac{|q|}{\varepsilon r^2} = \frac{|q|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$, де ε — діелектрична проникність діелектрика.
- **Електроємність конденсатора:** $C = \frac{q}{U}$, де q — заряд конденсатора (модуль заряду однієї його обкладки); U — різниця потенціалів між обкладками.
- **Електроємність плоского конденсатора:** $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$, де ε — діелектрична проникність діелектрика всередині конденсатора; S — площа однієї з обкладок, d — відстань між обкладками.
- **Енергія зарядженого конденсатора:** $W = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$.

- **З'єднання конденсаторів (**C — загальна електроємність**):**





Паралельне з'єднання

$$C = C_1 + C_2 + \ldots$$

Послідовне з'єднання

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots$$

Розділ 9. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

- **Сила струму:** $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, де Δq — електричний заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за інтервал часу Δt.

- **Опір провідника:** $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ — питомий опір; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника.

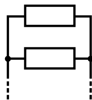
- **Закон Ома для ділянки кола:** $I = \frac{U}{R}$, де I — сила струму в провіднику; R — електричний опір провідника; U — різниця потенціалів (напруга) на кінцях провідника.

- **Послідовне з'єднання провідників:**



$$I = I_1 = I_2 = \dots;\ U = U_1 + U_2 + \dots;\ R = R_1 + R_2 + \dots$$

- **Паралельне з'єднання провідників:**



$$U = U_1 = U_2 = \dots;\ I = I_1 + I_2 + \dots;$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

- **Для паралельного з'єднання двох провідників:** $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

9. Закони постійного струму

- **Робота електричного струму:** $A = UIt$, де I — сила струму в ділянці кола; U — напруга на ділянці кола; t — час протікання струму.

- **Закон Джоуля — Ленца:** $Q = I^2Rt$, де Q — кількість теплоти, що виділяється в провіднику опором R за сили струму I протягом часу t.

- **Потужність струму:** $P = \frac{A}{t} = UI$.

- **Потужність струму для ділянки кола без сторонніх сил:** $P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$.

- **Електрорушійна сила (ЕРС):** $\mathscr{E} = \frac{A_{ст}}{q}$, де $A_{ст}$ — робота сторонніх сил при переміщенні по ділянці кола заряду q.

- **Закон Ома для повного кола:** $I = \frac{\mathscr{E}}{R + r}$, де $\mathscr{E}$ і r — відповідно ЕРС і внутрішній опір джерела струму; R — опір зовнішнього кола.

- **Наслідок із закону Ома для повного кола:** $U = \mathscr{E} - Ir$.

Розділ 10. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

- **Сила струму:** $I = |q_0| nvS$, де q_0 — заряд вільної зарядженої частинки, n — концентрація таких частинок, v — середня швидкість упорядкованого руху таких частинок; S — площа поперечного перерізу провідника.

- **Залежність опору провідника від температури:** $R = R_0(1 + \alpha t)$, де R_0 — опір провідника за температури 0 °C; α — температурний коефіцієнт опору.

- **Перший закон електролізу:** $m = kq = kIt$, де m — маса речовини, що виділилася при електролізі; k — електрохімічний еквівалент речовини; $q = It$ — заряд, що пройшов через електроліт.

- **Другий закон електролізу:** $k = \frac{1}{eN_A} \cdot \frac{M}{n}$, де k — електрохімічний еквівалент речовини; e — елементарний електричний заряд; N_A — стала Авогадро; M — молярна маса речовини; n — модуль заряду йона в елементарних електричних зарядах (валентність речовини).

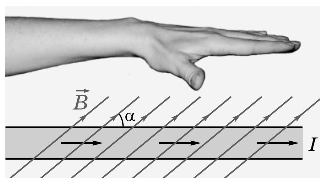
- **Умова йонізації електронним ударом:** $W_к \geqslant A_й$, де $W_к$ — кінетична енергія електрона; $A_й$ — робота йонізації.

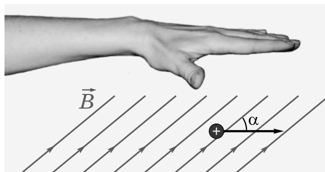
Розділ 11. МАГНІТНЕ ПОЛЕ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

- **Сила Ампера, яка діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля:**
  $F_A = BIl\sin\alpha$, де $\vec{B}$ — магнітна індукція поля; I — сила струму; l — довжина провідника; α — кут між магнітною індукцією поля та напрямком струму.

- **Сила Лоренца, яка діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля:**
  $F_Л = |q|vB\sin\alpha$, де q — заряд частинки; $\vec{v}$ — швидкість руху частинки; α — кут між магнітною індукцією та напрямком руху частинки.

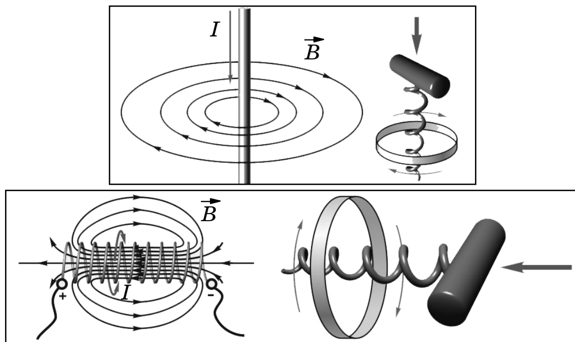
- **Правило лівої руки (**дозволяє визначити напрямок сили Ампера або сили Лоренца**):**





Відігнутий великий палець лівої руки показує напрямок сили **(**для негативно зарядженої частинки напрямок сили буде протилежним**).**

- **Правило свердлика** (встановлює зв'язок між напрямками струму та магнітного поля цього струму):

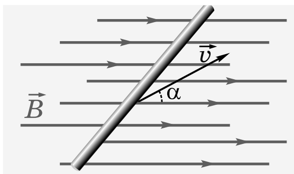


- **Магнітна проникність речовини:** $\mu = \frac{B}{B_0}$, де B_0 і B — магнітні індукції поля, яке створюється тим самим струмом відповідно у вакуумі та в речовині.

- **Магнітний потік через замкнений контур:** $\Phi = BS\cos\alpha = B_nS$, де B_n — проекція магнітної індукції $\vec{B}$ на вектор $\vec{n}$ нормалі до площини контуру; S — площа контуру; α — кут між напрямками $\vec{B}$ і $\vec{n}$.

- **Закон електромагнітної індукції:** $\mathscr{E}_i = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, де $\mathscr{E}_i$ — ЕРС індукції в контурі; $\Delta\Phi$ — зміна магнітного потоку через цей контур за інтервал часу Δt.

- **ЕРС індукції в провіднику довжиною *l*, який рухається зі швидкістю v в магнітному полі:**



$\mathscr{E}_i = vBl\sin\alpha$, де $\vec{B}$ — індукція магнітного поля; α — кут між напрямком руху провідника та індукцією магнітного поля.

- **Індуктивність замкненого контуру:** $L = \frac{\Phi}{I}$, де Φ — магнітний потік через замкнений контур, зумовлений протіканням у контурі струму, якщо сила струму дорівнює I.

- **ЕРС самоіндукції:** $\mathscr{E}_{is} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$, де $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ — швидкість зміни сили струму.

- **Енергія магнітного поля струму:** $W = \frac{LI^2}{2}$.

Розділ 12. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

- **Рівняння гармонічних коливань:** $x = x_{max}\cos(\omega t + \varphi_0)$, де x — зміщення тіла при коливаннях; x_{max} — амплітуда коливань; ω — циклічна частота коливань; t — час; φ_0 — початкова фаза коливань.

- **Для гармонічних коливань (і тільки для них):** $a_x = -\omega^2 x$, де a_x — проекція прискорення тіла на вісь Ox.

- **Період гармонічних коливань:** $T = \frac{2\pi}{\omega}$, де ω — циклічна частота коливань.

- **Частота коливань:** $\nu = \frac{1}{T}$.

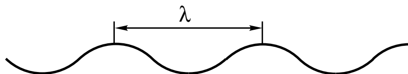
- **Циклічна частота гармонічних коливань:** $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

- **Максимальна швидкість руху при гармонічних коливаннях:** $v_{\max} = \omega x_{\max}$.

- **Для математичного маятника:** $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, де l — довжина маятника.

- **Для пружинного маятника:** $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, де m — маса вантажу; k — жорсткість пружини.

- **Довжина хвилі:** $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$, де v — швидкість хвилі; T і ν — відповідно період і частота хвилі.



Розділ 13. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

- **Формула Томсона для коливального контуру:** $T = 2\pi\sqrt{LC}$ $\left(\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}\right)$, де T і ω — відповідно період і циклічна частота вільних коливань у коливальному контурі; L — індуктивність котушки; C — електроємність конденсатора.

- **Зв'язок між амплітудними значеннями напруги $U_М$ та сили струму $I_М$ в ідеальному контурі:** $\frac{CU_М^2}{2} = \frac{LI_М^2}{2}$, звідки $\frac{U_М}{I_М} = \sqrt{\frac{L}{C}}$.

- **Діючі значення сили струму та напруги:** $I = \frac{I_М}{\sqrt{2}}$; $U = \frac{U_М}{\sqrt{2}}$.

- **Коефіцієнт трансформації трансформатора:**

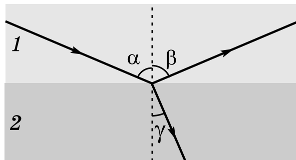
$K = \frac{\mathscr{E}_1}{\mathscr{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$, де $\mathscr{E}_1$, $\mathscr{E}_2$ — діюче значення ЕРС у відповідній обмотці; N_1, N_2 — кількість витків у відповідній обмотці; U_1, U_2 — діюче значення напруги у відповідній обмотці.

- **Довжина електромагнітної хвилі у вакуумі:**

$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$, де c — швидкість електромагнітних хвиль (швидкість світла) у вакуумі; T і ν — відповідно період і частота хвилі.

Розділ 14. ОПТИКА

Відбивання та заломлення світла



Падаючий, відбитий і заломлений промені лежать у площині, перпендикулярній до межі двох середовищ.

$\alpha = \beta$, $\dfrac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{2-1} = \dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{v_1}{v_2}$, де α — кут падіння, β — кут відбивання, γ — кут заломлення променя; n_{2-1} — показник заломлення середовища 2 відносно середовища 1; $n_1 = \dfrac{c}{v_1}$ і $n_2 = \dfrac{c}{v_2}$ — абсолютні показники за-

ломлення двох середовищ; v_1 і v_2 — швидкість світла відповідно в першому та другому середовищах.

- **Граничний кут повного відбивання на межі з вакуумом:** $\sin\alpha_{\text{гран}} = \frac{1}{n}$.
- **Оптична сила лінзи:** $D = \frac{1}{F}$, де F — фокусна відстань лінзи;

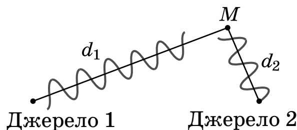
збиральна лінза $\updownarrow$: $D > 0$, $F > 0$;

розсіювальна лінза: $D < 0$, $F < 0$.

- **Формула тонкої лінзи:** $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$ (тут d — відстань між лінзою та предметом; $|f|$ — відстань між лінзою та зображенням; для уявного зображення $f < 0$).

- **Лінійне збільшення тонкої лінзи:** $\Gamma = \left| \frac{f}{d} \right|$.

- **Різниця ходу когерентних світлових хвиль:** $\Delta d = \left| d_1 - d_2 \right|$.



- **Умова інтерференційних максимумів:** $\Delta d = k\lambda$, де λ — довжина хвилі; $k = 0, 1, 2, \ldots$

- **Умова інтерференційних мінімумів:** $\Delta d = \frac{(2k+1)\lambda}{2}$, де λ — довжина хвилі; $k = 0, 1, 2, \ldots$

- **Формула дифракційної ґратки:** $d\sin\varphi = k\lambda$, де d — період дифракційної ґратки; φ — кут відхилення світла; $k = 0, 1, 2, \ldots$ — порядок максимуму; λ — довжина хвилі світла.

Розділ 15. ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ. СВІТЛОВІ КВАНТИ

- **Релятивістський закон додавання швидкостей:** $v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$, де c — швидкість світла у вакуумі; швидкості $\vec{v}_1$ і $\vec{v}_2$ напрямлені в один бік.

- **Релятивістське скорочення довжини в напрямку руху:** $l = l_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, де l_0 — довжина

тіла у власній системі відліку; l — довжина тіла в системі відліку, відносно якої воно рухається зі швидкістю v.

- **Релятивістська зміна ходу часу:** $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$,

де t_0 — тривалість події у власній системі відліку; t — тривалість тієї самої події в «нерухомій» системі відліку.

- **Енергія спокою тіла:** $W_0 = mc^2$, де m — маса тіла.

- **Енергія тіла, яке рухається зі швидкістю v:**

$$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

- **Кінетична енергія тіла, яке рухається зі швидкістю v:** $W_к = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$ (за малої швидкості руху $W_к = \frac{mv^2}{2}$).

- **Імпульс тіла, яке рухається:** $p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$.

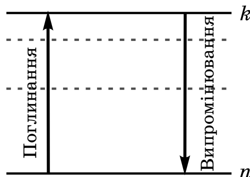
- **Енергія фотона:** $W = h\nu$, де h — стала Планка; ν — частота електромагнітного випромінювання.

- **Імпульс фотона:** $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{W}{c}$, де λ — довжина хвилі випромінювання; W — енергія фотона.

- **Рівняння Ейнштейна для фотоефекту:** $h\nu = A + W_к$, де $A = h\nu_{min}$ — робота виходу; $\nu_{min} = \frac{c}{\lambda_{max}}$ — червона межа фотоефекту; $W_к = \frac{mv^2}{2} = eU_{затрим}$ — максимальна кінетична енергія фотоелектронів; $U_{затрим}$ — затримуюча напруга.

Розділ 16. АТОМ І АТОМНЕ ЯДРО

- **Частота випромінювання, яке відповідає переходу між станами атома:** $\nu_{kn} = \frac{W_k - W_n}{h}$, де W_k, W_n — енергії початкового та кінцевого станів атома; h — стала Планка.



- **Закон радіоактивного розпаду:** $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, де N і N_0 — відповідно кінцева та початкова кількості атомів; T — період піврозпаду.

- **Дефект мас ядра:** $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{ядра}} = Zm_p + Nm_n + Zm_e - M_{\text{атома}}$, де Z і N — кількості відповідно протонів і нейтронів у ядрі; m_p, m_n і m_e — маси протона, нейтрона, електрона відповідно.

- **Енергія зв'язку ядра:** $W_{зв} = \Delta m \cdot c^2$, де Δm — дефект мас ядра.

- **Питома енергія зв'язку:** $\frac{W_{зв}}{A}$, де $A = Z + N$ — масове число ядра (загальна кількість нуклонів у ядрі).

- **Енергетичний вихід ядерної реакції:** $\Delta W = \left(M_{\text{до реакції}} - M_{\text{після реакції}}\right)c^2$. Якщо $\Delta W > 0$, то в ядерній реакції енергія виділяється, якщо $\Delta W < 0$, то енергія поглинається.

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА (короткий варіант)

Групи → / Періоди ↓	a I б	a II б	a III б	a IV б	a V б	a VI б	a VII б	a VIII б			
1	H 1 1,0079 Гідроген Водень						(H)	He 2 4,0026 Гелій			
2	Li 3 6,941 Літій	Be 4 9,012 Берилій	B 5 10,81 Бор	C 6 12,011 Карбон Вуглець	N 7 14,0067 Нітроген Азот	O 8 15,999 Оксиген Кисень	F 9 18,998 Флуор Фтор	Ne 10 20,179 Неон			
3	Na 11 22,990 Натрій	Mg 12 24,305 Магній	Al 13 26,981 Алюміній	Si 14 28,086 Силіцій	P 15 30,973 Фосфор	S 16 32,06 Сульфур Сірка	Cl 17 35,453 Хлор	Ar 18 39,948 Аргон			
4	K 19 39,098 Калій	Ca 20 40,08 Кальцій	21 44,956 Sc Скандій	22 47,90 Ti Титан	23 50,941 V Ванадій	24 51,996 Cr Хром	25 54,938 Mn Манган		26 55,847 Fe Ферум Залізо	27 58,933 Co Кобальт	28 58,70 Ni Нікол Нікель
	29 63,546 Cu Купрум Мідь	30 65,38 Zn Цинк	Ga 31 69,72 Галій	Ge 32 72,59 Германій	As 33 74,921 Арсен	Se 34 78,96 Селен	Br 35 79,904 Бром	Kr 36 83,80 Криптон			
5	Rb 37 85,468 Рубідій	Sr 38 87,62 Стронцій	39 88,906 Y Ітрій	40 91,22 Zr Цирконій	41 92,906 Nb Ніобій	42 95,94 Mo Молібден	43 98,906 Tc Технецій		44 101,07 Ru Рутеній	45 102,905 Rh Родій	46 106,4 Pd Паладій
	47 107,868 Ag Аргентум Срібло	48 112,40 Cd Кадмій	In 49 114,82 Індій	Sn 50 118,69 Станум Олово	Sb 51 121,75 Стибій	Te 52 127,60 Телур	I 53 126,904 Йод	Xe 54 131,30 Ксенон			
6	Cs 55 132,905 Цезій	Ba 56 137,34 Барій	57 138,905 *La Лантан	72 178,49 Hf Гафній	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,207 Re Реній		76 190,2 Os Осмій	77 192,22 Ir Іридій	78 195,09 Pt Платина
	79 196,967 Au Аурум Золото	80 200,59 Hg Меркурій Ртуть	Tl 81 204,37 Талій	Pb 82 207,2 Плюмбум Свинець	Bi 83 208,980 Бісмут	Po 84 [209] Полоній	At 85 [210] Астат	Rn 86 [222] Радон			
7	Fr 87 [223,02] Францій	Ra 88 [226,03] Радій	89 [227,03] **Ac Актиній	104 [265,12] Rf Резерфордій	105 [268,13] Db Дубній	106 [271,13] Sg Сиборгій	107 [270] Bh Борій		108 [277,15] Hs Гасій	109 [276,15] Mt Майтнерій	110 [281,16] Ds Дармштадтій
	111 [280,16] Rg Рентгеній	112 [285,17] Cn Коперніцій	Nh 113 [284,18] Ніхоній	Fl 114 [289,19] Флеровій	Mc 115 [288,19] Московій	Lv 116 [293] Ліверморій	Ts 117 [294] Теннессін	Og 118 [294] Оганессон			

Символ елемента — F; 9 — Порядковий номер; 18,998 — Відносна атомна маса; Флуор — Назва елемента; Фтор — Назва простої речовини

*Лантаноїди

58 140,12 Ce Церій	59 140,91 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [144,91] Pm Прометій	62 150,36 Sm Самарій	63 151,96 Eu Європій	64 157,25 Gd Гадоліній	65 158,93 Tb Тербій	66 162,50 Dy Диспрозій	67 164,93 Ho Гольмій	68 167,26 Er Ербій	69 168,93 Tm Тулій	70 173,05 Yb Ітербій	71 174,97 Lu Лютецій

**Актиноїди

90 232,04 Th Торій	91 231,04 Pa Протактиній	92 238,03 U Уран	93 [237,05] Np Нептуній	94 [244,06] Pu Плутоній	95 [243,06] Am Америцій	96 [247,07] Cm Кюрій	97 [247,07] Bk Берклій	98 [251,08] Cf Каліфорній	99 [252,08] Es Ейнштейній	100 [257,10] Fm Фермій	101 [258,10] Md Менделевій	102 [259,10] No Нобелій	103 [262,11] Lr Лоуренсій

Основні типи тестових завдань, що використовуються на ДПА і ЗНО

У посібнику ви знайдете:

- завдання різної складності
- розв'язання та відповіді до тренувальних завдань
- аналіз типових помилок
- відповіді до завдань для самоперевірки
- короткий фізичний довідник

Посібник допоможе учням, абітурієнтам:

- у процесі навчання
- при систематизації знань
- під час підготовки до ДПА і ЗНО

Уся шкільна фізика — під однією обкладинкою!



ISBN 978-617-09-1106-3